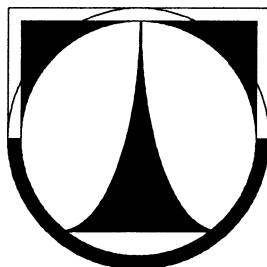


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2012

Josef Obrázek

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: T3909T010 – Inovační inženýrství

Inovace svítidla v oblasti veřejného osvětlení s využitím technologie LED

**Innovation of luminaire in section of public lighting
with using LED technology**

Diplomová práce

Autor: Josef Obrázek

Vedoucí práce: prof. doc. Ing. Vladislav Ševčík, CSc.

Konzultant: Ing. Tomáš Vach

V Liberci: 20.12.2011



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Josef O b r á z e k**

obor **Inovační inženýrství**

zaměření **Inovace výrobků**

Ve smyslu zákona 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Inovace svítidla v oblasti veřejného osvětlení s použitím technologie LED

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s dosavadním stavem řešení veřejných svítidel a trendy v oblasti LED technologie a tento stav popište.
2. Navrhněte koncepty možných řešení inovace veřejného osvětlení s využitím dostupné LED technologie na trhu.
3. Vybraný koncept optimalizujte z hlediska metod DFX, FMEA a dalších metod v oblasti předvýrobních etap.
4. Proveďte výpočty v oblasti chlazení svítidla.
5. Pro celý proces návrhu výrobku až po zkonstruování svítidla využijte metody inovačního inženýrství.
6. Proveďte kontrolu hlavních namáhaných částí a simulaci křivek svítivosti u zkonstruovaného svítidla.
7. Vytvořte výkresovou dokumentaci.

Forma zpracování:

- průvodní zpráva: 50 – 70 stran textu včetně obrázků
- grafické práce: množství nezbytné pro snadné pochopení látky čtenářem
výkresová dokumentace

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- ŠEVČÍK, L., MAŠÍN, I.: Metody inovačního inženýrství. Liberec 2006
- HABEL, J.: Světelná technika a osvětlování, Praha 1995 ISBN 80-901985-0-3
- Manuál ANSYS
- Manuál LightTools
- Dokumentace a podklady společnosti Modus spol. s r.o.
- Časopis SVĚTLO
- Katalogy a podklady firem Osram, Philips a další ...

Vedoucí diplomové práce: prof. doc. Ing. Ladislav Ševčík, CSc., TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Ing. Tomáš Vach, Modus spol. s r.o., Česká Lípa

L. S.

prof. doc. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 20. 12. 2011

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program: N2301 - Strojní inženýrství

Obor: Inovační inženýrství

Zaměření: Inovace výrobků

Katedra části a mechanismu strojů

Inovace svítidla v oblasti veřejného osvětlení s využitím technologie LED

Innovation of luminaire in section of public lighting with using LED technology

Jméno autora: Josef Obrázek

Vedoucí DP: prof. doc. Ing. Vladislav Ševčík, CSc., TU Liberec

Konzultant DP: Ing. Tomáš Vach, Modus spol. s r. o., Česká Lípa

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 69

Počet diagramů: 1

Počet tabulek: 8

Počet obrázku: 48

Počet příloh: 4

Datum odevzdání: 25.5.2012

Prohlášení

Byl jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne: 25.5.2012

Podpis:

Podpis

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. doc. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. z katedry mechanismů a částí strojů TU v Liberci za poskytnutý čas a připomínky, svému konzultantu Ing. Tomáši Vachovi, za zprostředkování této diplomové práce, za poskytnutá firemní data a konzultace k dané problematice.



Vznik tohoto materiálu byl podpořen v rámci projektu OP VK (CZ 1.07/2.2.00/07.0291) „In-TECH 2“ spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Realizace projektu : 2009 – 2012.

Partneři projektu: Technická univerzita v Liberci - Škoda Auto a.s. - Denso MCZ s.r.o.

Manažer projektu Doc. Dr. Ing. Ivan Mašín.



Anotace

Diplomová práce

Téma:

Inovace svítidla v oblasti veřejné osvětlení s využitím technologie LED

Anotace

Tato práce se zabývá konstrukčním návrhem elektrického svítidla pomocí metod inovačního inženýrství a za použití moderních LED technologií, dále rozbořem navrhovaných konstrukčních řešení a tvorbou křivek svítivosti.

Klíčová slova: veřejné osvětlení, LED systém, DFA, FMEA, křivka svítivosti, inovace veřejného osvětlení

Diploma project

Theme:

Innovation of luminaire in section of public lighting with using LED technology

Annotation

This work deals by structural design of the luminaire with support innovative engineering and with using of modern LED system technology, then analysis of structural design and creation of curves intensity.

Keyword: street lightning, LED technology, DFA, FMEA, curves of intensity, inovation street lightning

Obsah:

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Úvod..... | 13 |
| 1.1 | Cíle práce | 13 |
| 1.2 | Představení společnosti Modus spol. s. r. o. | 14 |
| 2 | LED technologie | 15 |
| 2.1 | Zhodnocení LED..... | 15 |
| 2.2 | Trendy v oblasti LED | 15 |
| 2.3 | Představení technologie pro návrh svítidla | 17 |
| 3 | Analýza současného stavu | 19 |
| 3.1 | Základní prvky svítidel | 19 |
| 3.2 | Svítidlo společnosti Modus spol. s. r. o. LV LED | 20 |
| 3.3 | Svítidlo společnosti Modus spol. s. r. o. VARIO 400 | 21 |
| 4 | Metody inovačního inženýrství | 23 |
| 4.1 | Benchmarking | 23 |
| 4.2 | Inovační prohlášení..... | 25 |
| 4.3 | Harmonogram | 26 |
| 4.4 | Inovační záměr..... | 26 |
| 4.5 | Identifikace zákaznických potřeb | 27 |
| 4.6 | Afinní diagram | 29 |
| 4.7 | Stanovení výrobní specifikace | 29 |
| 4.8 | Metoda QFD | 30 |
| 5 | Návrhy řešení | 32 |
| 5.1 | První návrh veřejného osvětlení | 32 |
| 5.2 | Druhý návrh veřejného osvětlení..... | 34 |
| 5.3 | Třetí návrh veřejného osvětlení | 36 |
| 5.4 | Čtvrtý návrh veřejného osvětlení..... | 38 |
| 5.5 | Pátý návrh veřejného osvětlení..... | 40 |
| 5.6 | Zhodnocení a výběr varianty | 42 |
| 5.7 | Popis vítězného konceptu veřejného osvětlení | 44 |
| 6 | Analýza teploty, namáhání, optiky | 45 |
| 6.1 | Teplota přechodu LED..... | 45 |
| 6.2 | Přenos tepla..... | 45 |
| 6.3 | Teplotní výpočet | 46 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.4 | Kontrola hlavních namáhaných částí | 48 |
| 6.5 | Výpočet spony | 50 |
| 6.6 | Simulace křivek svítivosti | 54 |
| 7 | Optimalizace řešení – DFX, FMEA | 57 |
| 7.1 | Metoda DFA | 57 |
| 7.2 | Metoda DFM | 58 |
| 7.3 | Metoda DFM | 59 |
| 7.3.1 | Použití rychloupínacích mechanismů | 59 |
| 7.3.2 | Otočné upevnění krytu | 60 |
| 7.3.3 | Druhy šroubů | 60 |
| 7.4 | Metoda DFTF | 60 |
| 7.5 | Metoda DFI | 61 |
| 7.6 | FMEA | 62 |
| 8 | Ekonomické zhodnocení | 65 |
| 9 | Závěr | 66 |
| | Použitá literatura: | 68 |
| | Seznam příloh: | 69 |

Seznam zkratk a symbolů:

| Označení | Jednotky | Název veličiny/popis |
|-----------------|-----------------|--|
| A | m^2 | Plocha řezu žebra |
| DFA | | Konstruování s ohledem na montáž |
| DFTF | | Konstruování s ohledem na spolehlivost |
| DFI | | Konstruování s ohledem na snadnou údržbu |
| DFM | | Konstruování s ohledem na snadnou údržbu |
| DFX | | Metody pro detailní konstruování |
| e | | Eulerovo číslo |
| F_p | N | Síla pružnosti spony |
| F_t | N | Třecí síla |
| F_z | N | Zkrutná síla spony |
| FMEA | | Přezkoumání návrhu výrobku |
| h | $W/m^2.K$ | Součinitel přestupu tepla |
| i | ks | Počet žeber |
| I_f | A | Proud v propustném směru |
| IP | | Krytí svítidla |
| IT | | Informační technologie |
| I | m | Tloušťka žebra |
| k | mm | Vzdálenost k ose otáčení |
| l | mm | Vzdálenost k ose otáčení |
| L | m | Výška žebra |
| Φ | lm | Světelný tok |
| LED | | Dioda emitující světlo |
| m | m^{-1} | Parametr žebra |
| M | | Bezrozměrný koeficient přestupu tepla |
| N | ks | Počet diod |
| P | m | Obvod žebra |
| P_z | W | Ztrátový výkon 1 LED |
| P_{z72} | W | Ztrátový výkon 72-ti LED |
| PCB | | Deska plošných spojů |
| QFD | | Dům kvality |
| Ra | | Index barevného podání barev |

| | | |
|----------------|--------------------|--|
| R_{hs} | K/W | Teplotní odpor chladiče |
| R_{thJA} | K/W | Celkový odpor soustavy 72-ti LED |
| R_{thJS} | K/W | Vnitřní teplotní odpor 1 LED |
| R_{thJS72} | K/W | Vnitřní teplotní odpor 72-ti LED |
| R_{thSB} | K/W | Teplotní odpor podkladu LED |
| $R_{thSB\ 72}$ | K/W | Teplotní odpor podkladu 72-ti LED |
| R_{tfin} | K/W | Teplotní odpor jednoho žebra |
| R_p | K/W | Teplotní odpor nežebrované plochy |
| R | K/W | Celkový teplotní odpor chladiče |
| R_x | N | Reakční síla působící z odlitku na osu spony |
| R_y | N | Reakční síla působící z odlitku na osu spony |
| R_{12} | N | Reakční síla ze členu jedna na člen dva |
| R_{21} | N | Reakční síla ze členu dva na člen jedna |
| R_{24} | N | Reakční síla ze členu dva na člen čtyři |
| R_{42} | N | Reakční síla ze členu čtyři na člen dva |
| S_p | m^2 | Plocha nežebrované části chladiče |
| Spol. s. r. o. | | Společnost s ručením omezeným |
| t | m | Rozteč mezi žebry |
| T_a | $^{\circ}\text{C}$ | Teplota okolí |
| T_j | $^{\circ}\text{C}$ | Maximální teplota LED |
| T_s | $^{\circ}\text{C}$ | Pojistná teplota |
| Tanh | | Hyperbolický tangens |
| U_f | V | Napětí v propustném směru |
| λ | W/m.K | Teplotní vodivost |

1 Úvod

Žijeme v době, kdy dochází k rychlému vývoji nových technologií a nových zařízení v různých oblastech průmyslového odvětví. V důsledku toho vznikají nové výrobky nebo nové možnosti výroby produktů. Nejinak tomu je i u světelné techniky.

V oblasti LED technologií došlo k významnému zdokonalení světelných zdrojů. Tyto světelné zdroje lze použít do svítidel veřejného osvětlení a nahradit původní zdroje (sodíkové a rtuťové výbojky). LED zdroje však nelze implementovat do konstrukce původních svítidel, proto je třeba navrhnout konstrukci svítidla jinou nebo přizpůsobit konstrukce stávající. To je hlavní důvod vzniku této práce.

1.1 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je navrhnout svítidlo pro veřejné osvětlení s využitím nové LED technologie od společnosti Osram (Oscon square). Požadavkem je, aby svítidlo splňovalo podmínku dostatečného odvodu tepla, aby nedocházelo k přehřívání nebo zničení diod. Zároveň musí splňovat požadavky na cenu v rozmezí (6 000 – 20 000,- Kč), design, snadnou údržbu, snadnou instalaci (hmotnost max. 9 kg) a mělo požadovanou svítivost 10 000 lm.

V úvodu diplomové práce bude provedeno seznámení se s dosavadními řešeními veřejných svítidel, trendy v oblasti LED technologií a popsání těchto stavů.

Po seznámení se s těmito stavy bude navrženo pět možných konceptů řešení, které budou zaměřeny na inovaci veřejného osvětlení. Koncepty se vytvoří na základě zákaznických potřeb formou dotazníku s interpretovanými potřebami. Pro stanovení cílové výrobní specifikace se provede metoda QFD. Koncepty výrobků se zpracují buď jako skica nebo 3D model za podpory počítačového software. Po vygenerování konceptů nastane jejich zhodnocení a výběr vítězného konceptu se vybere na základě rozhodovací tabulky. Vítězný koncept se podrobně rozpracuje.

Vítězný koncept bude rozpracován z hlediska metod pro detailní konstruování DFX a bude provedeno přezkoumání konstrukčního návrhu metodou FMEA. Hlavní pozornost bude věnována konstruování s ohledem na snadnou údržbu, instalaci a spo-

lehlivost. Metoda FMEA se provede s cílem identifikovat možné vady a poruchy a předejít těmto vadám.

Dalším bodem této práce je provedení teplotního výpočtu vítězného konceptu s cílem zamezit nežádoucímu přehřívání (zkracování životnosti nebo zničení diod) LED diod a zajistit dostatečný odvod tepla z těchto diod.

Po zkonstruování vítězného konceptu se vytvoří výkresová dokumentace na základě vytvořeného modelu v software. Dále bude provedena kontrola hlavních namáhaných součástí v některém z programů pro metodu konečných prvků a simulace křivek svítivosti, které znázorňují světelnou intenzitu v daném směrovém úhlu.

1.2 Představení společnosti Modus spol. s r. o.

Společnost Modus s. r. o. vznikla v roce 1994 a je zaměřena na výrobu profesionálního osvětlení vnitřních a venkovních prostor. Modus spol. s r. o. lze nalézt na třech místech republiky. V Praze a Třebíči se zajišťuje distribuce výrobků, v České Lípě se nachází výrobní závod, kde probíhá veškerá výroba. Ve společnosti je zaměstnáno přibližně 400 lidí. Klasické příklady výrobků společnosti Modus spol. s r. o. jsou: vestavná zářivková svítidla, průmyslová zářivková svítidla, vestavná svítidla, závěsná svítidla a bytová svítidla. Sortiment společnosti zahrnuje přibližně 60 svítidel všech možných druhů a celý objem výroby se pohybuje okolo 1 300 000 výrobků za rok. Společnost své výrobky nevyvážá jen na český trh, ale je i významným exportérem. Mezi významné obchodní partnery patří především státy západní Evropy (Itálie, Německo, Benelux). Hlavními dodavateli společnosti jsou světoznámí producenti komponentů VS, OSRAM, BJB, HELVAR a TRIDONIC.



Obr. 1 – Mřížkové svítidlo [1]



Obr. 2 – Svítidlo pro veřejné osvětlení [1]

2 LED technologie

Zkratka LED pochází z anglického slova light emitting diod, jehož český ekvivalent je dioda emitující světlo. Prochází-li elektrický proud touto polovodičovou součástí v propustném směru, dochází k vyzařování světelné energie.

Až dosud se používaly jako světelné zdroje veřejného osvětlení hlavně sodíkové a halogenidové výbojky. Bylo to hlavně z důvodu, že jiné světelné zdroje nedosahovaly takových světelných výkonů a doby životnosti, které jsou nutné pro veřejné osvětlení.

Současný vývoj přinesl významné zlepšení v oblasti LED technologie. Tato technologie získává dominantní postavení v oblasti světelné techniky a dochází k nahrazování původních světelných zdrojů.

2.1 Zhodnocení LED

Světelné zdroje LED se používají především pro řadu výhod, které nabízejí. Mají však také určité nevýhody. Světelné zdroje LED jsou odolné proti poškození, otřesy, vibracemi, chladu a jejich životnost je velmi dlouhá – při dodržení pravidel daných výrobcem. Nepotřebují prakticky žádnou údržbu, proto se velmi dobře hodí do veřejného osvětlení. Navíc nevyzařují UV a neobsahují žádné jedovaté látky jako rtuť – nehrozí kontaminace v případě rozbití. Tyto zdroje spotřebovávají méně elektrické energie, jsou recyklovatelné a šetří životní prostředí.

Jednou z nevýhod LED zdrojů je vliv teploty na životnost. Udržení správné teploty na zdroji je rozhodujícím faktorem pro správnou funkci zdroje. Se zvyšující se teplotou dochází ke snižování životnosti a k úbytku světelných vlastností. To má vliv na konstrukci svítidel. Konstrukce svítidel obsahuje pasivní chladiče, které odvádí teplo ze zdroje. Pasivní chladiče jsou zpravidla různě tvarovaná hliníková žebra.

2.2 Trendy v oblasti LED

Nejnovější trendy v oblasti LED pro veřejné osvětlení jsou svítivé moduly. Na trhu se lze setkat s různými typy modulů. Většina modulů je složena z desky plošných

spojů, kde jsou LED a konektoru pro kabel. Diody na desce plošných spojů mohou být v provedení, kdy každá dioda je zvlášť zastříknuta optickým materiálem a připojena k této desce a tato deska je jimi osázená (obr. 4). Další možností je, že deska plošných spojů je osázená skupinou diod, která je společně zalita jedním optickým materiálem a to vše je většinou v plastovém krytu, který zajišťuje snadnou manipulaci, instalaci a elektronickou bezpečnost (obr. 3). Kryty obsahují prvky, které slouží k přichycení modulu k tělu svítidla. Tyto prvky jsou obvykle kruhové otvory pro přichycení šrouby nebo nýty. Některé další moduly mohou obsahovat chladiče.



Obr. 3 – Modul Fortimo LLM od Philips [2] Obr. 4 – Deska osazená LED [2]

Samotný modul nebo desku osázenou LED nelze zapojit do elektrické sítě, je zapotřebí určitých komponentů. Soubor těchto komponentů se nazývá LED systém. LED systémy jsou složeny z modulu (světelný zdroj), z driveru a kabeláže. Tyto komponenty jsou obsaženy v těle svítidla a jsou vzájemně propojeny kabely.



Obr. 5 – Driver [2]



Obr. 6 – Kabeláž [2]

LED moduly jsou konstruovány tak, že jimi může protékat jen určité množství proudu. Aby byly LED zásobovány potřebným množstvím proudu, zapojují se do obvodů s drivery. Drivery mají funkci nejen omezovače proudu, ale slouží i k regulaci protékajícího proudu a chrání LED při zkratu, přehřátí a přetížení.

Regulace proudu v těchto driverech umožňuje různou intenzitu osvětlení. Různá intenzita osvětlení je u veřejného osvětlení vhodná např. při nočním svícení. Tyto předřadníky lze nastavit tak, že v určitou dobu mohou změnit intenzitu osvětlení. V době, kdy jsou komunikace málo frekventované (po půlnoci), stačí menší intenzita osvětlení. Tak dochází k nižší spotřebě elektrické energie.

Driver je elektronika uložená v krytu. Kryt je stejně jako u modulu vybaven prvky pro uchycení k tělu svítidla.

Modul a driver jsou spolu propojeny kabelem. Kabel je tvořen několika dráty, které jsou na konci obnaženy a zapojeny do konektoru. Konektor umožňuje snadné zacvaknutí do modulu a driveru.

2.3 Představení technologie pro návrh svítidla

Světelným zdrojem inovovaného svítidla bude nový typ světelných LED diod s označením Oscon Square LUW CQAR (streetwhite) od firmy Osram. Tato dioda byla vyvinuta, aby dosahovala maximálního toku a minimalizovala potřebu spotřeby místa při jejím uložení. Rozměry této diody jsou řádově 3x3 mm a tloušťka je 2 mm. Výrobce doporučuje používat tyto diody pro venkovní osvětlení, pouliční osvětlení, tunelové osvětlení a osvětlení v průmyslu.

Tato dioda je navržena pro protékající proud v rozmezí 200mA – 1,5 A. Při protékajícím proudu 350mA dosahuje tato dioda hodnoty světelného toku 145lm a světelné účinnosti 139lm/W. Při protékajícím proudu 700mA dosahuje dioda světelného toku 264lm při světelné účinnosti 120lm/W. Možnosti barevné teploty této diody se pohybují v rozmezí 5 300 – 6 500 K a index podání barev je $R_a = 70$. Hmotnost je 2,5 mg.

Protože inovované světlo má mít světelný tok 10 000lm, je potřeba navrhnout počet diod, které tuto hodnotu zajistí. O počtu diod rozhoduje protékající proud. Se zvyšujícím se proudem roste hodnota světelného toku a snižuje se potřeba počtu diod. Při klesajícím proudu je to naopak. Závislost světelných vlastností na protékajícím proudu



Obr. 7 – Oscon Square LUW CQAR [3]

a závislost protékajícího proudu na napětí udává výrobce v Datasheetu – popis výrobku. Pro určení počtu diod jsem vybral výše zmíněné hodnoty proudu s příslušným světelným tokem. Pro přehlednost jsem vytvořil tabulku jedna, kde jsou dvě možné varianty počtu diod.

Tabulka 1

| Proud mA | Světelný tok lm | Počet diod ks | Spotřeba 1 diody W | Celková spotřeba W | Celkový světelný tok lm |
|-------------|--------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 350 | 145 | 70 | 1 | 70 | 10 150 |
| 700 | 264 | 38 | 2,2 | 84 | 10 032 |

Z těchto dvou variant volím variantu s protékajícím proudem 350mA. Výhody této varianty vidím hlavně v životnosti jednotlivých diod, která se prodlužuje se snižujícím se protékajícím proudem. Životnost se pohybuje okolo 50 000h. Další výhodou vidím ve spotřebě elektrické energie, která je při nižším protékajícím proudu nižší při dosažení relativně stejného světelného výkonu.

Jako nevýhoda by se mohl jevit počet diod, které by mohly negativně ovlivnit konstrukci (rozměry, hmotnost) svítidla. Vzhledem k tomu, že tato technologie byla vyvinuta, aby minimalizovat potřebu spotřeby místa, nepovažuji to za nedostatek.

Inovované svítidlo bude obsahovat 70 diod. Tyto diody budou rozmístěny na desce plošných spojů. Tvary a rozměry desky (desek) a rozmístění diod na deskách bude navrženo podle konstrukce svítidla.

3 Analýza současného stavu

V této kapitole budou představeny základní prvky svítidel veřejného osvětlení a dva druhy svítidel od společnosti Modus spol. s r. o.. Tyto svítidla můžeme v současné době nejčastěji vidět při osvětlování veřejných prostor. Jedná se o svítidla LV LED a VARIO 400. První zmíněné svítidlo, jak již název napovídá, obsahuje LED světelný zdroj a druhé svítidlo obsahuje výbojku.

3.1 Základní prvky svítidel

Základem celého svítidla je těleso svítidla neboli korpus. Těleso svítidla nese ostatní díly a je k němu přimontováno celé elektrické vybavení. Těleso může být vyrobeno z polyesteru plněného skelnými vlákny nebo tlakovým litím z hliníkových slitin.

Korpus svítidla obsahuje přírubu, která slouží k uchycení na nosnou konstrukci (stožár). Příruba může být součástí těla svítidla nebo je kompletována s korpusem dodatečně většinou prostřednictvím šroubů.

Světelné zdroje svítidel pro veřejné osvětlení jsou vybaveny hlavně sodíkovými a rtuťovými výbojkami. V současné době se přechází na zdroje LED, které dosahují srovnatelných světelných výkonů a mají řadu výhod oproti sodíkovým a rtuťovým výbojkám. Upevnění světelných zdrojů v korpusu může být různé (např. v objímce).

Optický systém svítidla pro veřejné osvětlení se skládá z reflektoru a difuzoru. Reflektory odráží světlo ze směrů, do kterých svítidlo nemá svítit a směřujícího do požadovaného směru. Reflektory bývají tvořeny vyleštěnou nebo pokovenou plochou např. plocha z vysoce leštěného hliníku. Můžou být také v provedení jen čistě bílé plochy. Díky reflektorům se zvyšuje účinnost svítidla.

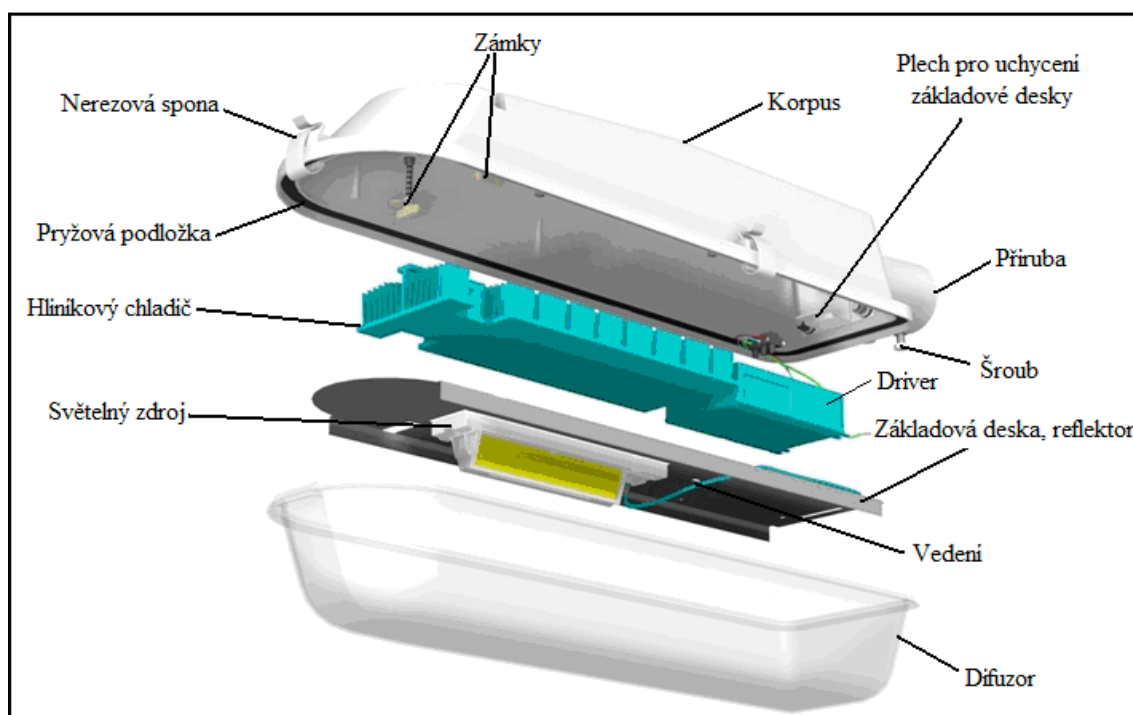
Difuzor světlo rozptyluje tak, aby svítidlo působilo jako plošný zdroj světla. Difuzor nejen rozptyluje světlo, ale chrání i světelný zdroj. Většinou bývá vyroben z čirého plastu (např. polykarbonátu).

Každé elektronické zařízení stejně jako svítidlo pro veřejné osvětlení by mělo být opatřeno krytem. Kryt slouží jako ochrana před vnějšími vlivy, před vnikáním cizích předmětů do zařízení a chrání před popáleninami nebo smrtí elektrickým proudem.

Dalším prvkem veřejného osvětlení je průchodka. Skrz průchodku prochází kabel elektrického vedení do svítidla veřejného osvětlení. Tato průchodka utěsňuje prostor v místě vniku vedení do svítidla. Díky tomu se nedostává do veřejného osvětlení vlhkost a prach, což jsou negativní jevy zvláště u svítidel se světelným zdrojem LED. LED zdroje jsou náchylné na vlhkost – dochází ke snižování životnosti.

3.2 Svítidlo společnosti Modus spol. s. r. o. LV LED

Korpus svítidla LV LED od společnosti Modus spol. s. r. o. je vyroben buď z polyesteru plněného skelnými vlákny, nebo z hliníku. Na korpus je přišroubována ocelová příruba. Ocelová příruba je svařena ze dvou částí. Jedna část slouží k uchycení k tělu svítidla a druhá část slouží k uchycení na stožár. Obě uchycení jsou prostřednictvím šroubů a obě součástí jsou svařené.



Obr. 8 – Svítidlo společnosti Modus spol. s. r. o. LV LED [1]

Světelný zdroj svítidla je připevněn k základové desce, která slouží zároveň i jako reflektor a je bíle lakovaná. Tato základová deska je spojena s pasivním hliníkovým chladičem, který je tvořen hliníkovou deskou se žebry. Na základové desce je umístěn driver. Základová deska je připevněna k tělu svítidla prostřednictvím tvarových prvků.

Z jedné strany je upevněna pomocí otočných zámků, po jejichž otočení se vyklopí dolů a zůstane zavěšena na svítidle. S druhé strany je uchycena tvarovým prvkem plechu.

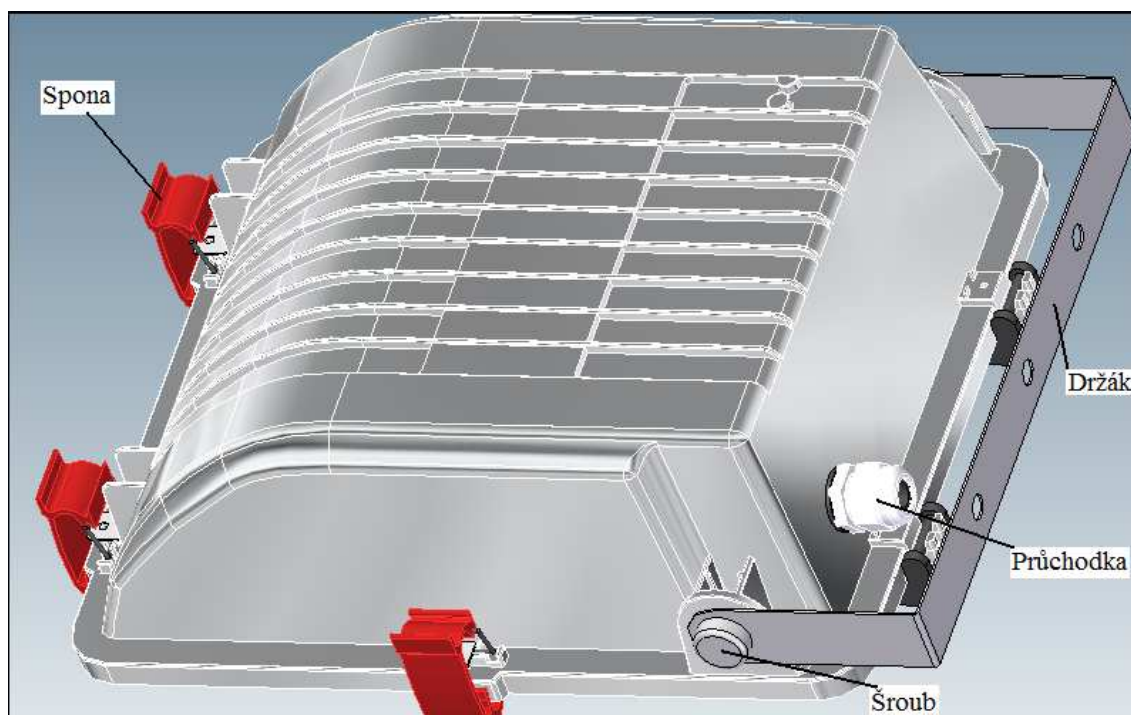
Elektrické vedení mezi modulem a driverem je vedeno skrz základovou desku. Vedení obsahuje konektory, takže lze snadno zacvaknout vedení do modulu a driveru. Modul s driverem jsou od sebe odděleny tak, aby nedocházelo k tepelnému ovlivňování modulu driverem.

Difuzor a ochrana proti poškození zdroje zde tvoří polykarbonátový čirý kryt. Difuzor je přichycen k tělu svítidla třemi přezkami. Přezky jsou vyrobeny z nerezové oceli, aby nedocházelo k jejich poškození vlivem okolního prostředí. Tři přezky umožňují snadné zavírání a otvírání polykarbonátového krytu pouhým zacvaknutím.

Podél korpusu je drážka, která je vyplněna pryžovou podložkou. Tato podložka slouží k lepšímu utěsnění mezi korpusem a polykarbonátovým čirým krytem.

3.3 Svítidlo společnosti Modus spol. r. s. o. VARIO 400

Korpus svítidla VARIO 400 je vyroben z hliníkového odlitku, který je šedě lakovaný. Ke korpusu je přišroubován držák svítidla, který slouží k upevnění svítidla na zeď



Obr. 9 – Svítidlo společnosti Modus spol. s. r. o. VARIO 400 [4]

(šrouby). Tento držák je vyroben z ohnutého plechu a je uchycen šrouby po obou stranách svítidla. Držák umožňuje úhlové nastavení korpusu.

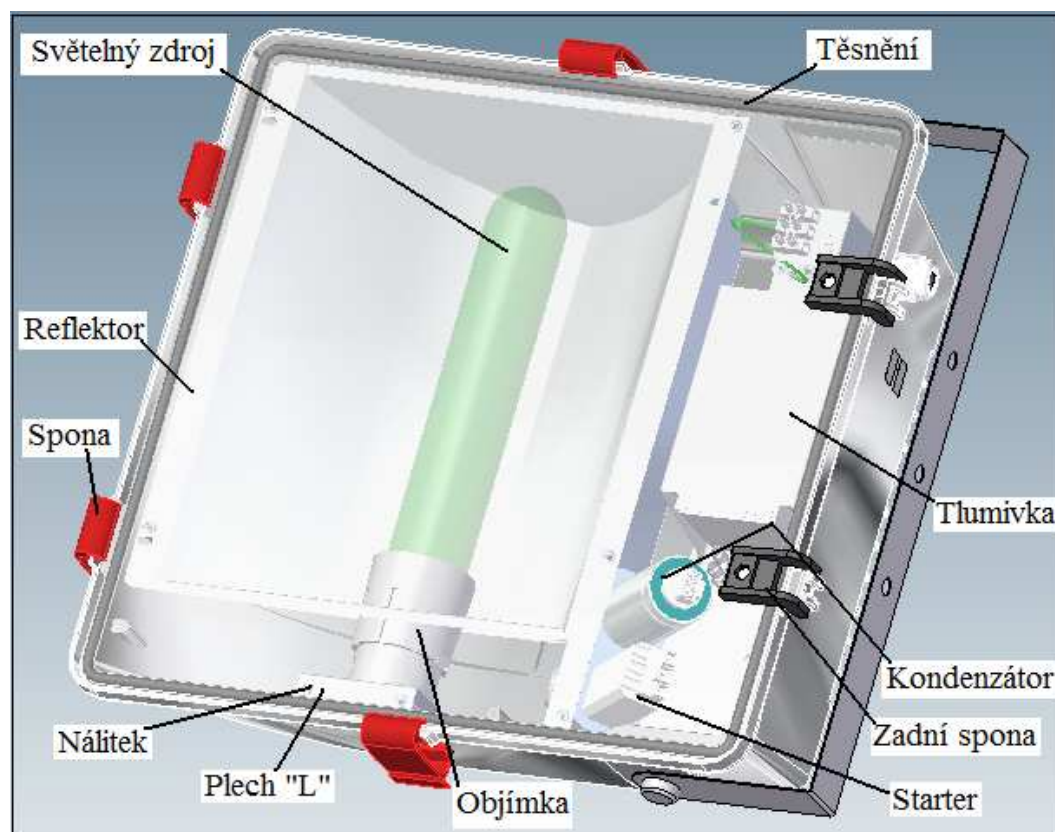
Světelný zdroj tohoto svítidla je výbojka, která je zašroubována v objímce. Tato objímka je spojena s plechem tvaru „L“. Tento plech je přišroubován k nálitkům v tělese svítidla.

Aby docházelo k odrazu světla ze směrů, do kterých svítidlo nemá svítit je použit reflektor. Reflektor není tvořen jedním kusem tvarovaného hliníku. Je vytvořen několika tenkými tvarovanými plechy, které jsou navzájem spojeny tvarovými prvky v těchto plechách. Reflektor je přišroubován k nálitkům v tělese svítidla.

Elektronika svítidla se skládá z tlumivky, kondenzátoru a zapalovače. Tyto části jsou spojené k plechovému dílu a tento plech je k tělesu svítidla přišroubován.

Jako ochrana proti rozbití světelného zdroje, vniku prachu a nečistot je světlo opatřeno plochým skleněným krytem. K tomuto krytu jsou přišroubovány zadní spony. Tyto spony jsou otočně uloženy v těle svítidla a umožňují tímto krytem otáčet. Kryt je zajištěn kovovými hliníkovými sponami.

Podél korpusu je drážka, která je vyplněna pryžovou podložkou. Tato podložka slouží k lepšímu utěsnění mezi korpusem a krytem.



Obr. 10 – Svítidlo společnosti Modus spol. s r. o. VARIO 40 [4]

4 Metody inovačního inženýrství

Metody inovačního inženýrství je skupina nástrojů, která slouží k zlepšování, přidávání funkcí a hodnot stávajícím výrobkům nebo jsou tyto nástroje zaměřeny na tvorbu úplně nových výrobků. Tyto nástroje zahrnují metody od počátečních fází inovace výrobků, přes plánování inovace, navrhování tvorby konceptů, detailní konstruování, přezkoumání konstrukčního návrhu až po samotné zhotovení navrhovaného výrobku.

4.1 Benchmarking

Benchmarking je metoda strategického managementu. Dochází při něm k porovnání produktů nebo zjištění stavu konkurenčních výrobků. Smyslem benchmarkingu je zlepšení pozice na trhu na základě zjištěných nedostatků s konkurenčním výrobkem [5]. Protože vycházím z omezených možností, provedu zde jen internetový průzkum, kde uvede jen některé typické varianty veřejného osvětlení s LED.

Korpus svítidla LED VO – 720 LD – 100W je tvořen hliníkovou slitinou a difuzor je tvořen bezpečnostním sklem. Světelný zdroj je zde jedna LED dioda s teplotou chromatičnosti (5 500 – 7 000 K) a možností vyprodukovat až 10 000lm. Hmotnost této konstrukce je 9,6 kg s životností 50 000 h a IP 65. Příkon světelného zdroje je 100W. Chlazení je zde součástí korpusu těla jako podélné žebrování. Není zde možnost uhlového nastavení korpusu vůči stožáru. Je vhodné pro osvětlení průmyslových zón a areálů, parkovacích ploch a jiných veřejných prostranstvích. Cena toho svítidla se pohybuje okolo 13 500,- Kč.



Obr. 11 – Svítidlo LED VO – 720 LD [6]

Veřejné osvětlení DJRA1 – 120L je osázená 110 diodami od společnosti Osram, kde každá dioda má svoji rozptylovací čočku, čímž je docílené dokonalejšího rozptylu světla. Světlo lze regulovat podle potřeby. Korpus svítidla je vyroben z hliníku a jako difuzor je použité sklo. Příkon světelného zdroje je 110 W a může vyprodukovat až 10 848lm při indexu podání barev $R_a = 70$. Svítidlo má hmotnost 14,8 kg a IP 65. Konstrukce svítidla umožňuje úhlové nastavení vůči stožáru a chlazení je provedené jako žebrování na těle svítidla. Cena svítidla je 24 580,- Kč.



Obr. 12 – Svítidlo DJRA1 – 120 [6]

Svítidlo CAREO 1300 – 0440 je osazeno 30 LED čipy od výrobce CREE Inc. v Kalifornii. Příkon světelného zdroje je 100 W a vyprodukuje až 11 190lm při indexu podání barev $R_a = 70$. Váha svítidla je 6 kg a stupeň krytí je IP 65. Hliníkový profil zajišťuje dokonalý odvod tepla a zároveň tvoří nosnou konstrukci s vysokou pevností. Celohliníkové provedení tohoto svítidla je spojeno šrouby z nerezavějící oceli. Použité optické prvky jsou vyrobeny z PC s vysokou odolností proti vandalismu. K tělu svítidla je možné namontovat kloubovou přechodku, která umožňuje nastavení svítidla do účinné polohy při montáži. Cena svítidla je 22 000,- Kč.



Obr. 13 - Svítidlo CAREO 1300 – 0440 [7]

4.2 Inovační prohlášení

Popis zařízení:

Jedná se o inovaci veřejného osvětlení s využitím dostupné LED technologie na trhu. Světelným zdrojem tohoto veřejného osvětlení bude nová technologie OSOLON SQUARE od společnosti Osram.

Klíčové obchodní cíle:

Tyto výrobky budou odebírány pro potřeby osvětlení veřejných prostranství, jak na domácích, tak i na zahraničních trzích.

Primární trhy:

Primární trhy jsou města a obce pro osvětlení veřejných komunikací.

Sekundární trhy:

Sekundárními trhy budou osvětlené parkoviště obchodních domů, manipulační prostory a veřejné komunikace výrobních závodů a skladů.

Předpoklady a omezení:

Hlavním omezením svítidel veřejného osvětlení je cena svítidel. Cena takovýchto svítidel by neměla výrazně překročit cenu stávajících svítidel s LED diodami. Cena současných svítidel se pohybuje v rozmezí 6 000 – 20 000,- Kč.

Svítidlo bude bezpečné, snadno smontovatelné, snadno udržovatelné a nebude vyžadovat zvláštní údržbu. Hodnota světelného toku se bude pohybovat okolo 10 000 lm.

Účastníci inovačního procesu:

| | |
|----------------|--|
| Autor: | Josef Obrázek |
| Vedoucí práce: | prof. doc. Ing. Vladislav Ševčík, CSc. |
| Konzultant: | Ing. Tomáš Vach |

4.3 Harmonogram

Tabulka 2 - Harmonogram

| ID | Název úkolu | Doba trvání | Zahájení | Dokončení |
|----|------------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| 1 | Začátek projektu inovace VO | 322 dny | 3.10. 11 | 15.5. 12 |
| 2 | Začátek úvodu | 59 dny | 3.10. 11 | 11.11. 11 |
| 3 | Zadání DP | 10 dny | 3.10. 11 | 7.10. 11 |
| 4 | Seznámení se s LED | 14 dny | 10.10. 11 | 18.10. 11 |
| 5 | Popis svítidel | 10 dny | 19.10. 11 | 25.10. 11 |
| 6 | Průzkum trhu | 25 dny | 26.10. 11 | 11.11. 11 |
| 7 | Konec úvodu | 0 dny | 11.11. 11 | 11.11. 11 |
| 8 | Začátek generování nápadů | 81 dny | 11.11. 11 | 6.1. 12 |
| 9 | Návrh konceptů | 60 dny | 11.11. 11 | 23.12. 11 |
| 10 | Znodnocení konceptu | 10 dny | 23.12. 11 | 3.1. 12 |
| 11 | Výběr konceptů | 8 dny | 23.12. 11 | 6.1. 12 |
| 12 | Konec generování nápadů | 0 dny | 6.1. 12 | 6.1. 12 |
| 13 | Začátek konstrukce | 124 dny | 9.1. 12 | 3.4. 12 |
| 14 | Rozpracování konceptu | 45 dny | 9.1. 12 | 8.2. 12 |
| 15 | DFX | 21 dny | 8.2. 12 | 22.2. 12 |
| 16 | FMEA | 18 dny | 23.2. 12 | 6.3. 12 |
| 17 | Tvorba 3D modelu | 40 dny | 7.3. 12 | 3.4. 12 |
| 18 | Konec konstrukce | 0 dny | 3.4. 12 | 3.4. 12 |
| 19 | Začátek analýz | 30 dny | 4.4. 12 | 25.4. 12 |
| 20 | Kontrola namáhaných částí | 20 dny | 4.4. 12 | 17.4. 12 |
| 21 | Simulace křivek svítivosti | 11 dny | 18.4. 12 | 25.4. 12 |
| 22 | Konec analýz | 0 dny | 25.4. 12 | 25.4. 12 |
| 23 | Začátek konečných prací | 28 dny | 25.4. 12 | 15.5. 12 |
| 24 | Výkresová dokumentace | 20 dny | 25.4. 12 | 9.5. 12 |
| 25 | Tisk dokumentů | 4 dny | 9.5. 12 | 11.5. 12 |
| 26 | Svázání | 4 dny | 11.5. 12 | 15.5. 12 |
| 27 | Konech konečných prací | 0 dny | 15.5. 12 | 15.5. 12 |
| 28 | Odevzdání DP | 0 dny | 15.5. 12 | 15.5. 12 |

Harmonogram se používá pro rozložení inovačních projektů v čase formou úsečkových grafů [8]. Zpravidla se tyto harmonogramy zobrazují v některém z programů (MS Project) v podobě Ganthova diagramu. V této tabulce uvádím neúplný Ganthův diagram v podobě tabulky úkolů diplomové práce. Úplný Ganthův diagram uvádím v příloze dvě, kde je vypracován harmonogram v software MS project.

4.4 Inovační záměr

Inovační záměr je vytvoření konstrukce svítidla pro veřejné osvětlení, které jako světelný zdroj využívá LED diody Oslon Square od společnosti Osram. Svítidlo bude obsahovat takový počet diod, které zajistí světelný tok 10 000lm. Diody současně budou

splňovat světelné požadavky na barevnou teplotu v rozmezí (5 000 – 6 000 K) a index podání barev $R_a = 70$.

4.5 Identifikace zákaznických potřeb

Filozofie metod pro identifikaci zákaznických potřeb vychází ze snahy vytvořit vysoce kvalitní informační tunel mezi zákazníky na cílovém trhu a pracovníky podílejícími se na inovaci výrobku. Předpokladem úspěchu je to, že management a členové inovačního týmu, které bezprostředně ovlivňují charakteristiky výrobku, musí být v přímém kontaktu se zákazníky a mít zkušenosti s chováním a používáním výrobku. Bez této přímé zkušenosti nemohou být technická řešení a zákonité kompromisy udělané dobře a tím pádem nebudou objevena skutečně inovační řešení. Cílem metod zaměřených na identifikaci zákaznických potřeb je proto zejména[8]:

- identifikovat skryté a zřejmé potřeby zákazníků
- zajistit, že nebude opomenuta žádná zásadní potřeba
- umožnit ověření vazby mezi potřebami a charakteristikami výrobku
- zaznamenat informace o zákaznických potřebách
- usnadnit porozumění jednotlivým potřebám zákazníků manažery a členy inovačního týmu.

Pro zajištění zákaznických potřeb byl vypracován dotazník, na jehož základě dotazování proběhlo. Dotazování probíhalo, buď osobním pohovorem s vyplněním dotazníku, nebo byl zaslán dotazník internetovou cestou, bez osobního pohovoru. Dotazování probíhalo anonymně. Cílem tohoto dotazníku bylo zjistit, zda jsou spotřebitelé obeznámení s možností veřejného osvětlení s využitím LED technologie, zda by o toto osvětlení byl zájem na trhu, na jaké faktory se ohlížejí zákazníci při koupi nového veřejného osvětlení, co shledávají negativního a pozitivního na současném veřejném osvětlení. Vzor dotazníku je uveden v příloze jedna. Jako ukázkou uvedu jen jednu stranu vyplněného dotazníku (průzkum po internetu) na následující stránce.

Průzkum zákaznických potřeb byl proveden na 50 dotazovaných z celkového počtu 61-ti oslovených.

Dotazník pro veřejné osvětlení

Dotazník slouží pro účely diplomové práce a má informativní charakter. Správnou odpověď zakřížkujte a v případě potřeby připište vlastní názor do vymezeného řádku. Při elektronickém vyplnění odpověď označte a dopište text. Po uložení odešlete zpět.

- 1) Slyšeli jste o možnosti využití LED ve svítidlech pro veřejné osvětlení?

☒ Ano
☐ Ne

- 2) Znáte nějaké nevýhody světelných zdrojů LED?

☒ Ano
☐ Ne

mala, nižší spotřeba elektrické energie oproti klasickým zdrojům jako žárovka

- 3) Znáte nějaké výhody světelných zdrojů LED?

☒ Ano
☐ Ne

jsou drahé

- 4) Jaké světelné zdroje používáte pro veřejné osvětlení?

☐ Rtuťové výbojky
☒ Sodíkové výbojky
☐ LED
☐ Jiné

- 5) Byli byste ochotni koupit si dražší svítidlo pro veřejné osvětlení s využitím LED?

☒ Ano
☐ NE

- 6) Hodláte přejít na veřejné osvětlení s LED a proč?

☐ Ano
☒ Ne

V současné době máme funkční stará světla

- 7) Kolik jste ochotni investovat do svítidla pro veřejné osvětlení (částka v Kč)?

☒ 0 – 10 000
☐ 10 000 – 15 000
☐ 15 000 – 20 000
☐ více než 20 000

- 8) Co je pro Vás nejdůležitějším faktorem při výběru svítidla?

☒ Cena
☐ Jiný faktor

- 9) Uspořádejte nabízené faktory (od nejdůležitějšího k méně důležitým), které Vás ovlivňují při koupi svítidel pro veřejné osvětlení?

Cena Design Životnost Kvalita Spotřeba el. Záruka
Cena, Spotřeba, Kvalita, Design, Životnost, Záruka

Oslovení byli hlavně potencionální zákazníci z řad lidí, kteří mají na starosti osvětlení veřejných komunikací v obcích. Další průzkum, který byl proveden, byl internetový průzkum. Prostřednictvím různých článků a diskusí na internetu jsem zjišťoval nedostatky, doporučení a představy zákazníků o veřejném osvětlení.

4.6 Afinní diagram

Afinní diagram představuje logické uspořádání zákaznických potřeb do různých úrovní významnosti. Potřeby jsou seřazeny do skupin od maximální významnosti k minimální. Získaný přehled slouží k pohodlnějšímu výběru významných parametrů pro budoucí výrobek [8].

Diag. 1 – Afinní diagram



4.7 Stanovení výrobní specifikace

Po průzkumu trhu jsou získány potřeby, které neobsahují dostatek informací o tom, jak by měl být výrobek technicky vyřešen nebo zkonstruován. Proto po fázi průzkumu trhu dochází ke stanovování výrobní specifikace. Výrobní specifikace je definována jako přesný popis toho, co výrobek musí umět nebo co musí poskytovat zákazníkovi. Výrobní specifikace se skládá z parametru, který říká, co by měl výrobek splňovat a z hodnoty vyjádřené ve fyzikálních jednotkách. Důležité je, že tato hodnota

musí být přesně a měřitelným způsobem popsána. Postup při určování výrobních specifikací probíhá ve třech fázích:

- vytvoření seznamu fyzikálně měřitelných parametrů výrobku
- provedení benchmarkingu konkurenčních výrobků
- definování ideálních či kritických hodnot

Pro realizaci stanovení postupu stanovení výrobní specifikace se využívá několik metod, z nichž nejčastěji se používá metoda QFD (quality function deployment) [8].

4.8 Metoda QFD

Metoda QFD se využívá v etapě návrhu výrobku, při zlepšování výrobků. Vychází z principů japonského managementu a řídí se tím, co zákazník chce. Je to nástroj, který zohledňuje přání a potřeby zákazníků již ve fázi návrhu a plánování a zaměřuje se na důkladnou analýzu těchto přání a potřeb.

Metoda se zabývá spíše rozvojem možností než řešením problémů a soustřeďuje se na nejdůležitější charakteristiky, které potřebují být vylepšeny, zejména proto, aby výrobek mohl zvýšit svou konkurenční schopnost a zvýšit podíl na trhu. Hlavní výhody této metody jsou:

- identifikace a zvýraznění zákaznických potřeb
- jistota, že zákaznické potřeby nejsou při vývoji dezinterpretovány
- minimalizace potřeby následných změn
- zajištění standardního postupu při vývoji výrobku.

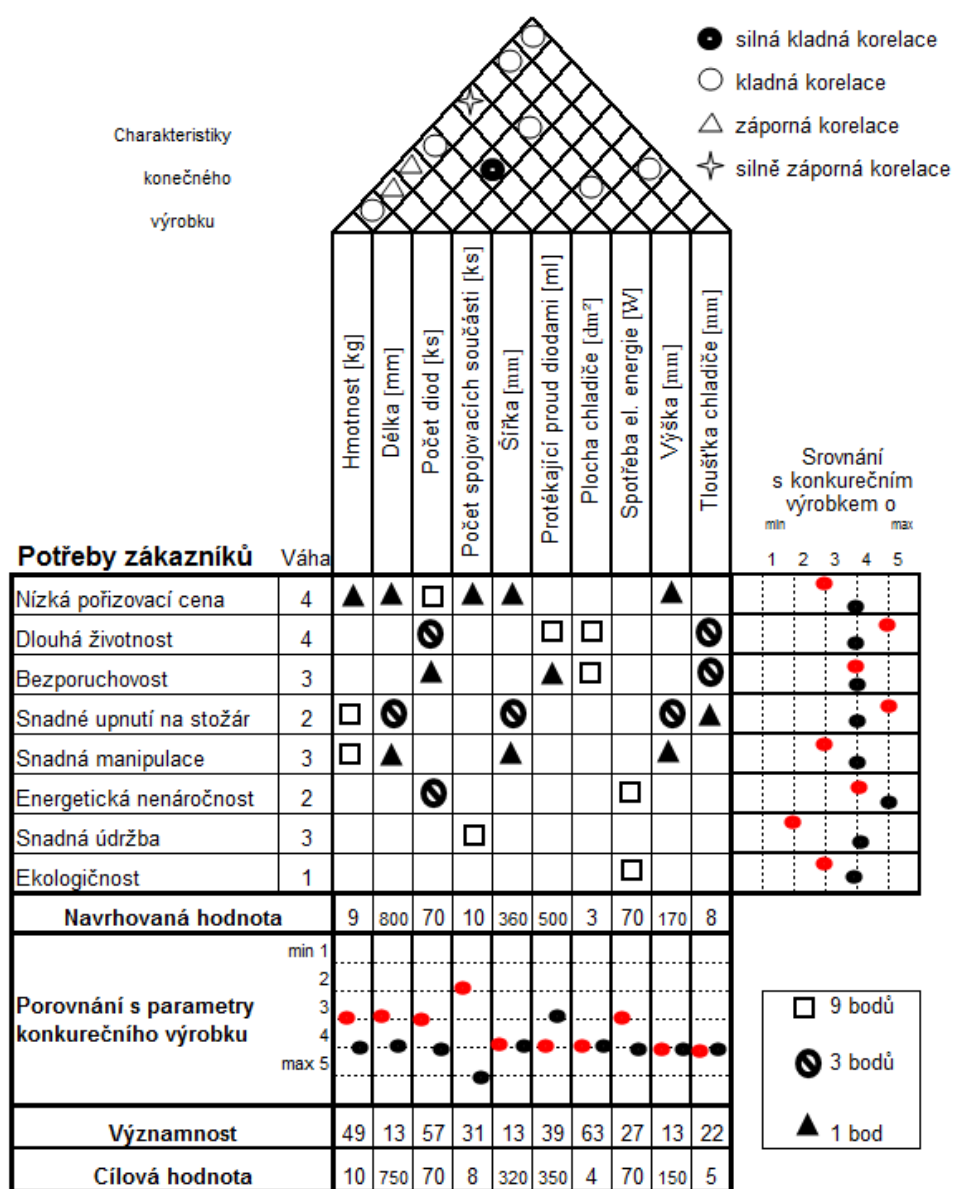
Na základě zákaznických požadavků byl vytvořen QFD diagram (tab. 3), aby bylo zajištěno promítnutí zákaznických požadavků do finálního výrobku. Metoda QFD využívá principu tzv. korelačních matic, pomocí kterých je možné kaskádovým způsobem rozpracovat zákaznické potřeby na technické charakteristiky výrobku.

Svislá osa matice představuje zákaznické potřeby a vodorovná osa představuje seznam položek (měřitelných jednotek), prostřednictvím nichž chceme získat požadované

zlepšení. V průřezu svislé a vodorovné osy udává závislost zákaznických potřeb na seznamu položek, jimiž požadované zlepšení chceme dosáhnout.

Každá potřeba a vlastnost se potom porovnává s konkurenčním výrobkem. Porovnávací konkurenční výrobek jsem zvolil svítidlo DJRA1 – 120L.

Tabulka 3 - QFD



Z QFD diagramu vyplývá, že nejdůležitější charakteristika pro zákazníka je plocha chladiče. Cílovou hodnotu jsem tedy z důvodu vysoké významnosti zvýšil. Vzhledem k tomu, že plocha chladiče koreluje s hmotností a má větší významnost než hmotnost, rozhodl jsem se zvětšit plochu chladiče na úkor hmotnosti.

5 Návrhy řešení

V této kapitole bude představeno pět vlastních návrhů konceptů veřejného osvětlení. Po vygenerování těchto konceptů bude vybrán vítězný koncept, který bude podrobně rozpracován. Výběr bude proveden na základě porovnání jednotlivých řešení konceptů. Na závěr této kapitoly bude proveden popis podrobně rozpracované vítězné varianty.

5.1 První návrh veřejného osvětlení

Tělo svítidla tvoří hliníkový odlitek. Odlitek je rozdělen na dvě části. Jedna část slouží pro uložení desky s diodami a druhá pro uložení driveru. Tato separace komponent je provedena záměrně, aby teplo vytvořené v driveru neovlivňovalo tepelným vedením diody uložené na PCB desce.

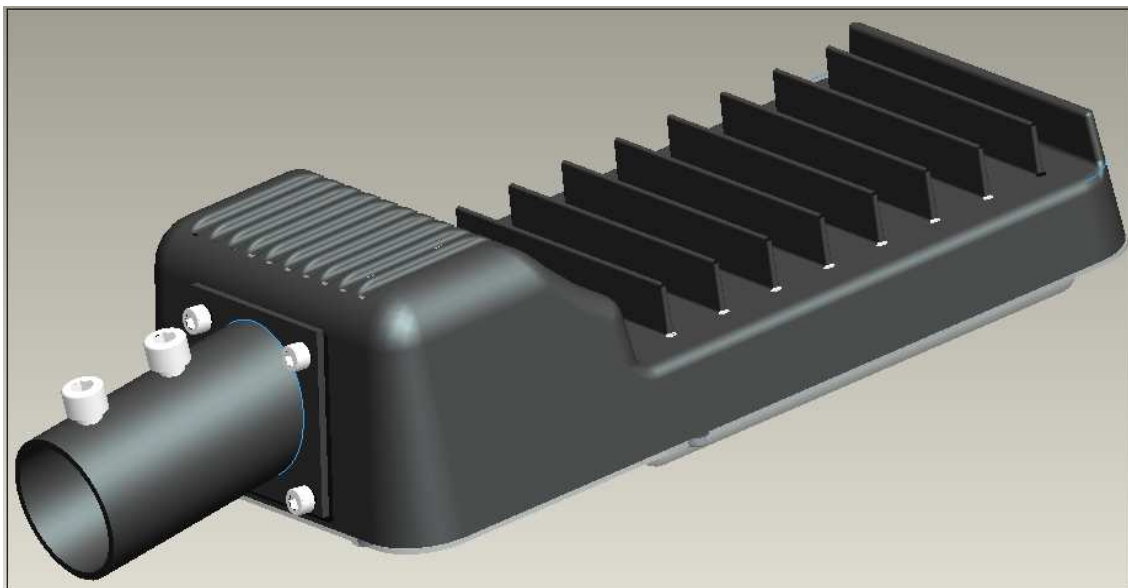
Část, kde je uložen driver je vytvořeno drážkování, které napomáhá odvodu tepla z této části svítidla. V tomto místě je stěna těla svítidla zeslabena a to napomáhá lepšímu odvodu tepla. Aby nedocházelo k přehřívání diod je využito pasivního chladiče. Pasivní chladič tvoří žebra společně s plochou, na které je uložena PCB deska s LED diodami. Teplo je vedeno touto plochou skrz materiál, kde se dostává k žebřům. Počet žebér zlepšuje odvod tepla, protože se zvětšuje činná plocha chladiče.

K tělu svítidla je připojena ocelová příruba. Příruba je tvořena ze dvou částí a tyto části jsou svařené. Jedna část je plochá deska, která slouží k chycení k tělu svítidla prostřednictvím šroubů a druhá část je válcová a slouží k přichycení ke stožáru pro veřejné osvětlení. Přichycení válcové části ke stožáru pro veřejné osvětlení je prostřednictvím dvou šroubů.

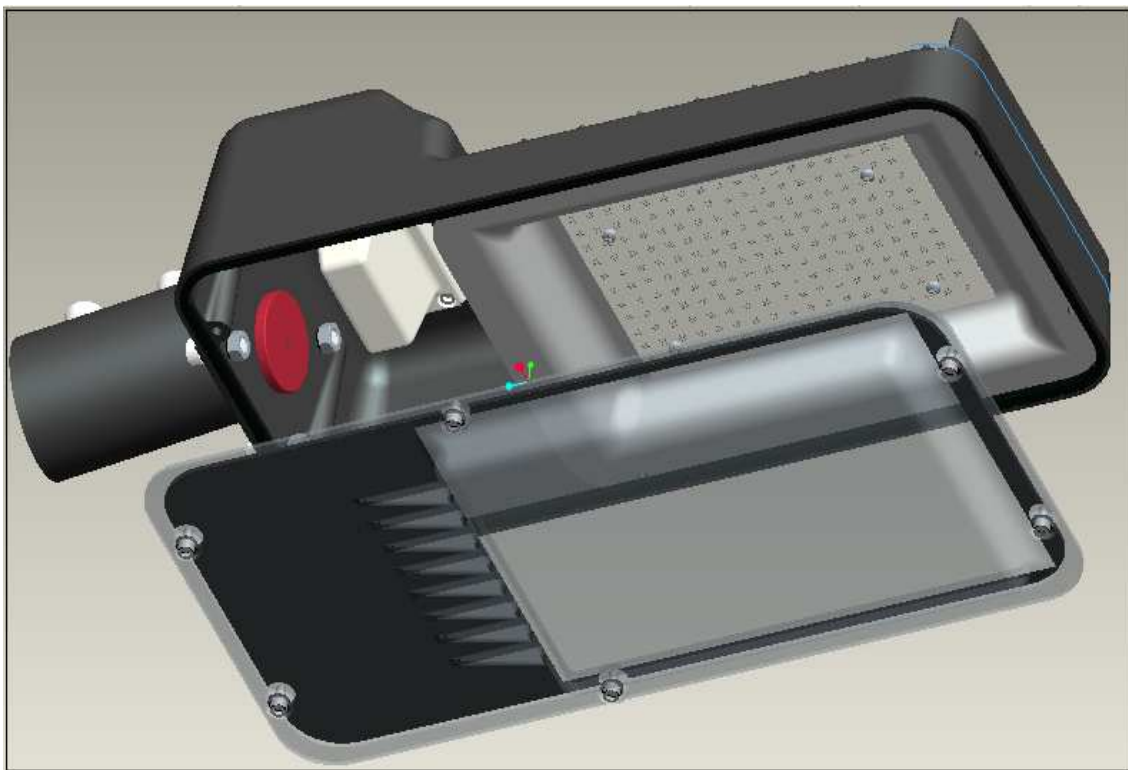
Elektrické vedení ze stožáru veřejného osvětlení je do světla vedeno skrz přírubu tzv. průchodkou (červený díl na obr. 15). Průchodka je pryžový díl s otvorem pro průchod kabelu. Tento otvor obsahuje několik lamel (břitů), které jsou menší než průměr vedení. Soustava kabel – břity zajišťují odolnost proti vnikání prachu a vlhkosti.

Pro větší účinnost světla je svítidlo opatřeno hliníkovým reflektorem. Tento reflektor je společně s PCB deskou diod přichycen šrouby k tělu svítidla. Optický systém doplňuje difuzor. Difuzor je navrhnut, jako polymerová světlo propustná deska. S tělem svítidla je spojen šesti šrouby. Difuzor obsahuje černěnou fólii, jako estetický doplněk pro zabránění pohledu do oblasti driveru.

Pro odolnost svítidla proti prachu a vlhkosti je po obvodu svítidla vedeno těsnění, které spolu s difuzorem tvoří těsnicí systém. Tento systém ovlivňuje velikost utahovacího momentu šroubů.



Obr. 14 – 3D model prvního navrženého konceptu svítidla – pohled shora



Obr. 15 – 3D model prvního navrženého konceptu svítidla – dolní pohled

Výhody:

- snadné upnutí na stožár – malá hmotnost
- velká plocha chlazení – dlouhá životnost
- design
- snadná manipulace – malé rozměry svítidla
- oddělená elektronika a zdroj světla

Nevýhody:

- nelze uhlově nastavit
- obtížná údržba – hodně spojovacích prvků

5.2 Druhý návrh veřejného osvětlení

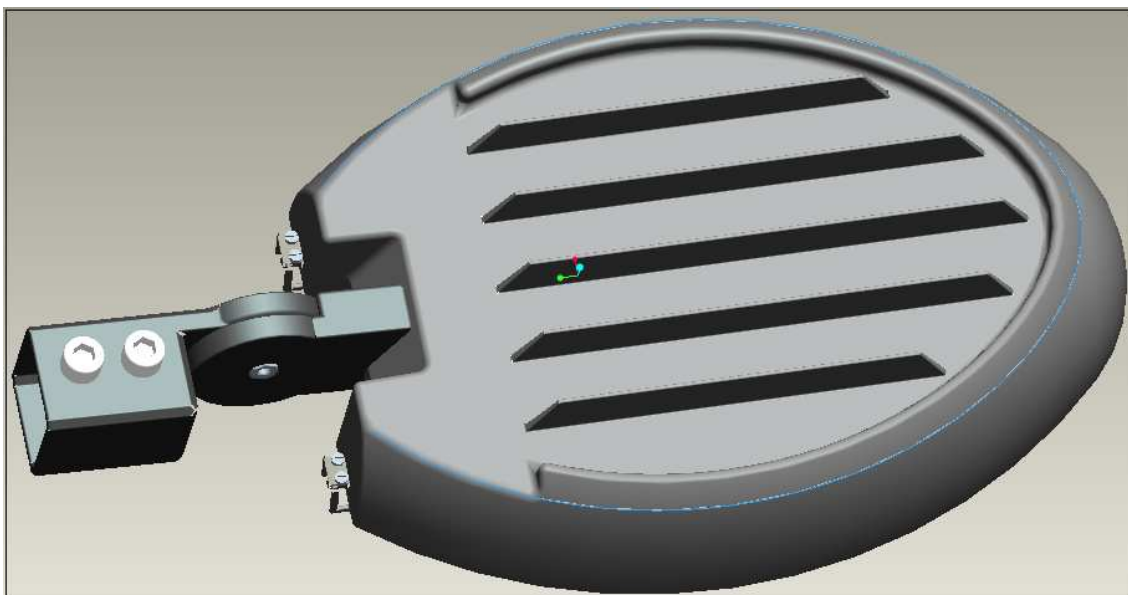
Tělo svítidla je hliníkový odlitek. Pro uložení elektronických částí do tohoto odlitku slouží pouze jedna plocha. Driver a PCB deska, kde jsou uloženy diody, budou přišroubovány šrouby k této ploše.

Odvod tepla zajišťuje pasivní chlazení. Toto chlazení tvoří výše zmíněná plocha odlitku společně s pěti žebry. Žebra a plocha odvádí teplo na rozhraní se vzduchem, kde dochází k odvodu tepla.

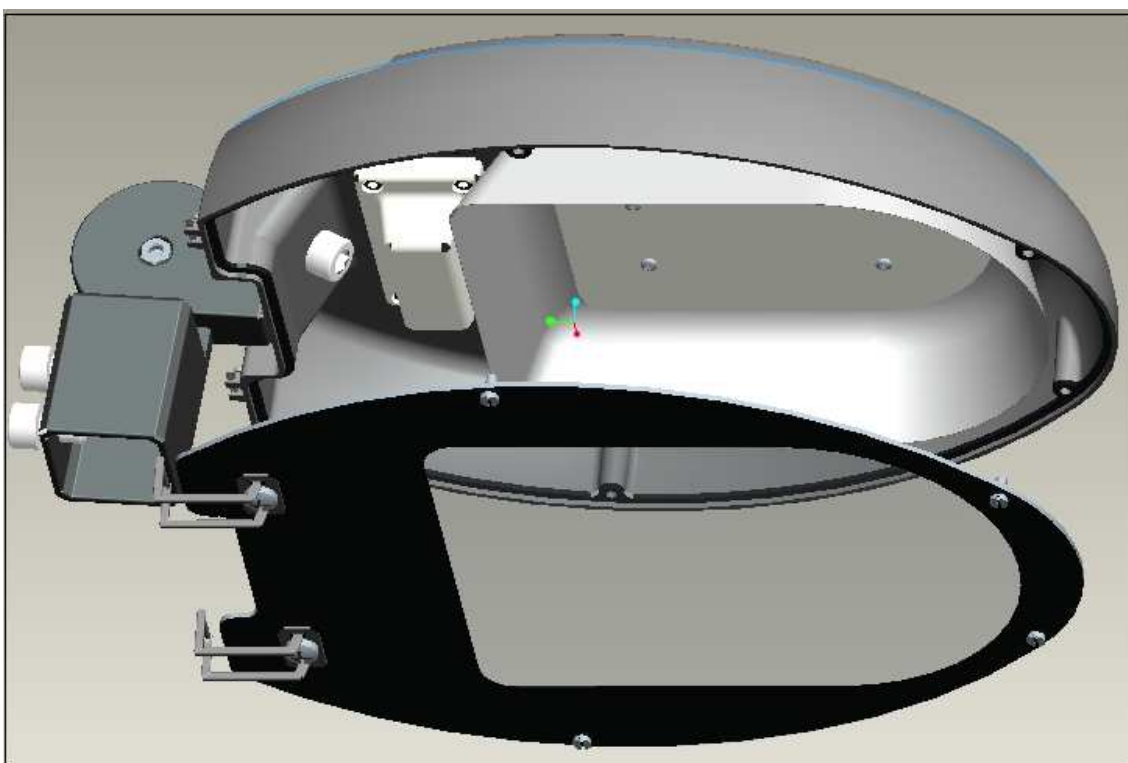
Pro uchycení těla svítidla ke stožáru veřejného osvětlení slouží otočný mechanismus. Je složen ze dvou částí, z nichž jedna je připevněna k tělu svítidla a je pevná. Druhá část je otočná a slouží k přichycení ke stožáru veřejného osvětlení dvěma šrouby. Mechanismus umožňuje přichycení světla jak na podélné tak příčné sloupy. To umožňuje zapadnutí tvarových prvků mechanismu pod určitým úhlem (jen 90°). Tvarové prvky jsou kolíky, které zapadají do protikusu.

Pro větší účinnost světla je svítidlo opatřeno hliníkovým reflektorem. Tento reflektor je společně s PCB deskou diod přichycen šrouby k tělu svítidla. Optický systém doplňuje difuzor. Difuzor je navrhnut jako polymerová světlo propustná deska, která je plochá a přes ní je černěná fólie, aby zakrývala pohled do oblasti driveru. Přes tuto fólii je vidět jen světelný zdroj s reflektorem. Difuzor je sešroubován s tělem svítidla čtyřmi šrouby a na jednom konci je otočně zavěšen.

Pro odolnost svítidla proti prachu a vlhkosti je po obvodu svítidla vedeno těsnění, které spolu s difuzorem tvoří těsnicí systém.



Obr. 16 – 3D model druhého navrženého konceptu svítidla – pohled shora



Obr. 17 – 3D model druhého navrženého konceptu svítidla – pohled sdola

Výhody:

- snadné upnutí na stožár – malá hmotnost
- design
- lze umístit na podélné i příčné stožáry veřejného osvětlení

- snadná manipulace – malé rozměry svítidla
- otočné zavěšení difuzoru

Nevýhody:

- dá se očekávat vysoká pořizovací cena – tvarově složité
- není tepelně oddělen světelný zdroj a napájecí elektronika
- obtížná údržba - hodně spojovacích prvků
- různé druhy spojovacích prvků – obtížná údržba
- omezenost tvarového rozměru PCB desky

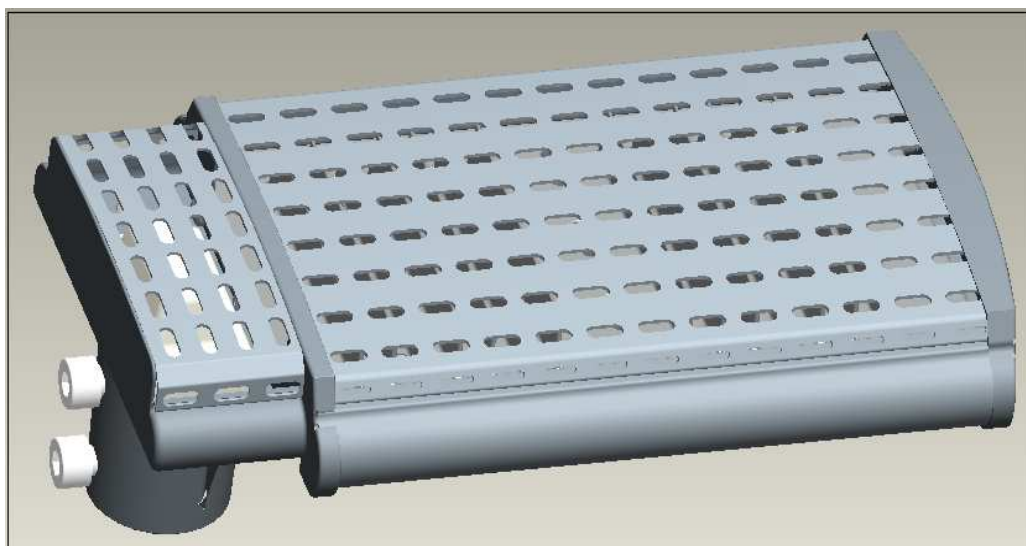
5.3 Třetí návrh veřejného osvětlení

Základem svítidla je hliníkový odlitek, kde jsou uloženy dvě desky s diodami. Tyto desky jsou k tomuto odlitku přišroubovány. Desky s diodami jsou chráněny průhledným plastovým krytem, který je přidržován hliníkovým rámečkem přišroubovaným k odlitku. Mezi rámečkem a odlitkem je těsnění (na obr. 20 – černě označeno), které zabraňuje vnikání drobných nečistot a vlhkosti.

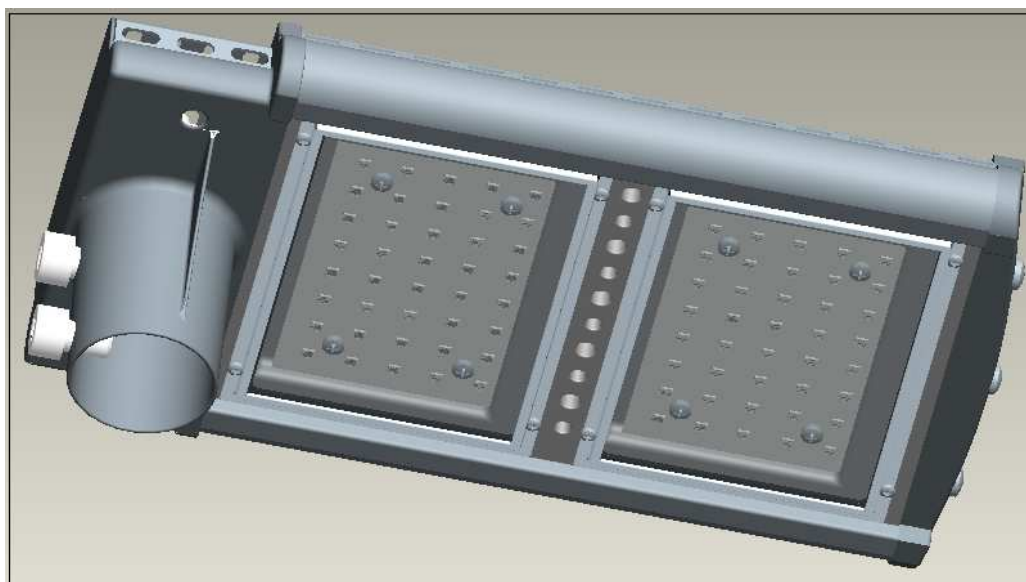
Odvod tepla zajišťuje pasivní chlazení, které tvoří samotný odlitek společně s žebry. Pro každou desku s diodami je obsaženo zvlášť žebrování pro lepší odvod tepla. Systém odvodu tepla doplňuje plech s otvory, který umožňuje přístup a odvod vzduchu horní částí svítidla. Dalším prvkem chlazení je perforace hliníkového odlitku, jak je vidět na obrázku 19. Má za úkol, aby vzduch mohl proudit i ze spodní části svítidla a efektivněji tím chladit.

Základ svítidla tvoří hliníkový odlitek. K tomuto odlitku jsou z estetických a funkčních důvodů připojeny další komponenty. Po obou koncích hliníkového odlitku jsou nasunovací lišty s tvarovými prvky pro uchycení perforovaného plechu, který umožňuje přístup vzduchu do svítidla. Tento plech neumožňuje jen přístup vzduchu, ale zároveň i chrání elektrické vedení, které napájí diody.

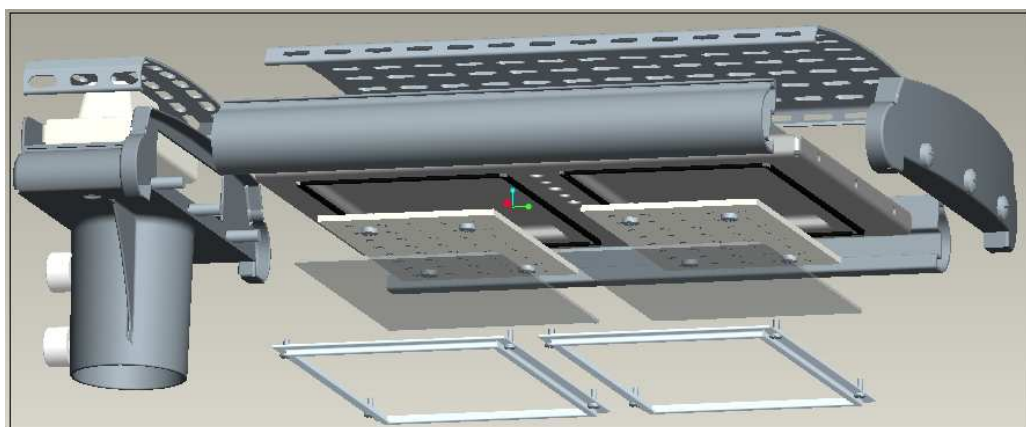
Přední a zadní část svítidla obsahuje kryty. Oba kryty jsou s hliníkovým odlitkem sešroubovány a pomocí nich jsou přichyceny boční lišty, které jsou do těchto krytů nasunuty pomocí tvarových prvků.



Obr. 18 – 3D model třetího navrženého konceptu svítidla – pohled shora



Obr. 19 – 3D model třetího navrženého konceptu svítidla – pohled sdola



Obr. 20 – 3D model třetího navrženého konceptu svítidla – rozložený pohled

Zadní kryt má více funkcí než přední. Slouží ještě pro uložení driveru a obsahuje část, která slouží pro usazení na stožár veřejného osvětlení. Pro zajištění světla proti posunu a otáčení na stožáru obsahuje tato část dva šrouby.

Výhody:

- oddělená elektronika a zdroj světla

Nevýhody:

- malá tuhost svítidla – bezpečnost
- velké nároky na utěsnění elektrické vedení
- nelze uhlově nastavit
- lze umístit jen na příčné stožáry

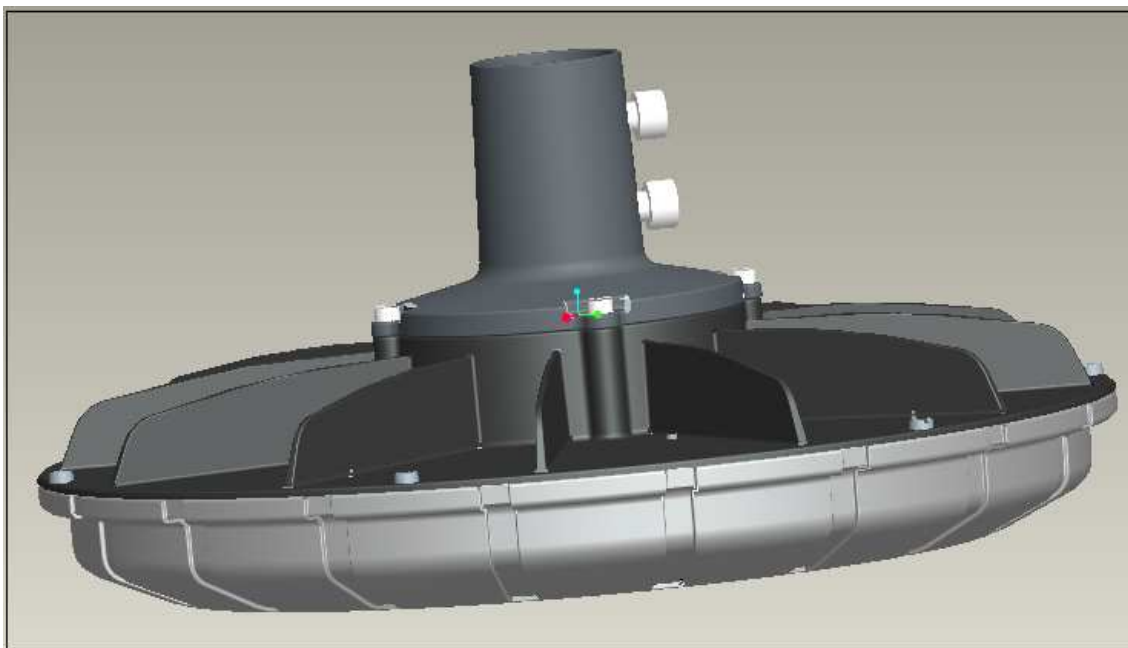
5.4 Čtvrtý návrh veřejného osvětlení

Svítidlo tvoří dva hliníkové odlitky. Jeden odlitek je černý (obr. 21) a plní funkci pasivního chladiče. Má kruhový tvar a podél obvodu obsahuje šestnáct žebířů pro dobrý odvod tepla. Uprostřed tohoto dílu je kruhová dutina, která slouží pro uložení elektroniky – driveru. Driver k této části není přišroubován. Z druhé strany tohoto dílu je přišroubována deska s diodami a hliníkový reflektor pro větší účinnost svítidla.

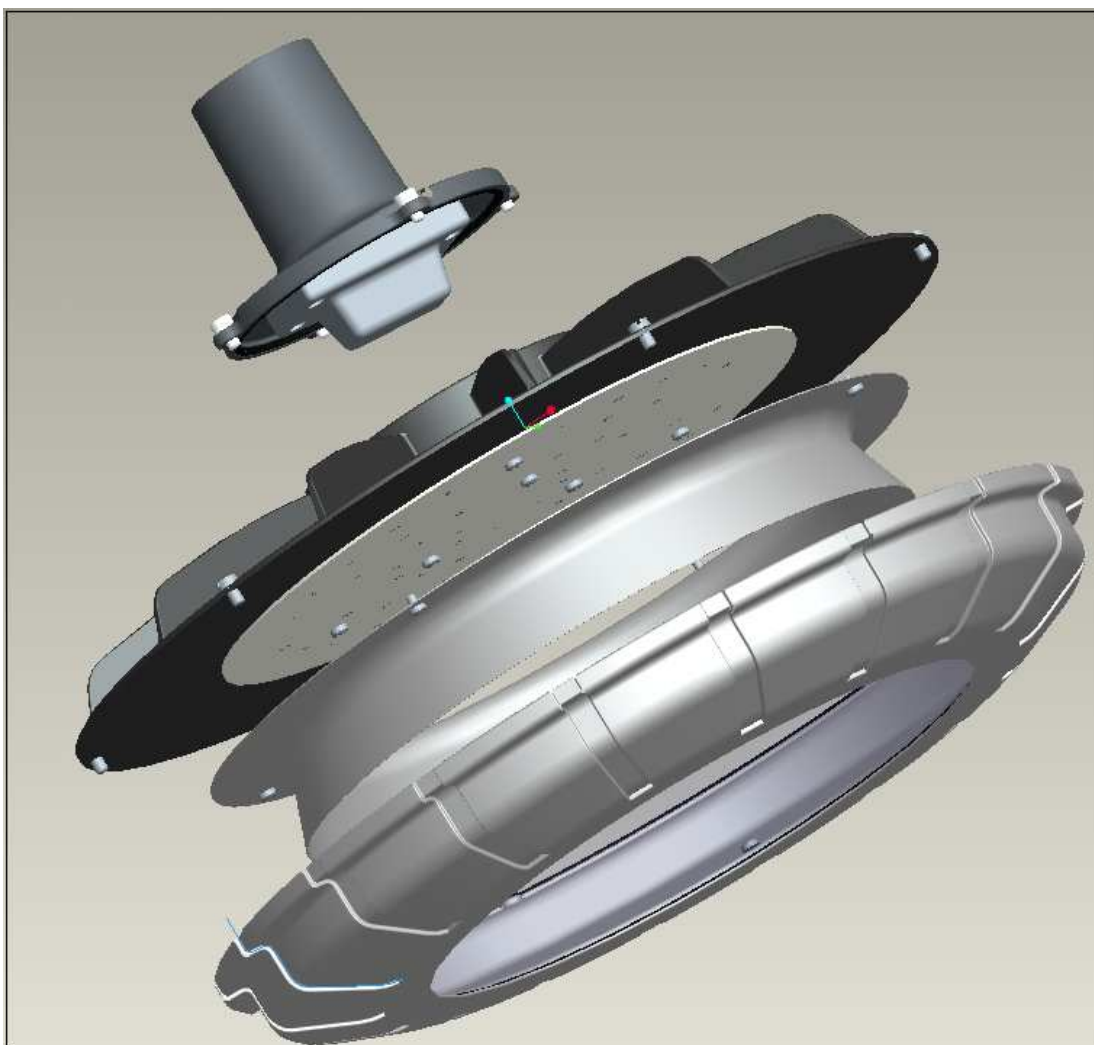
K pasivnímu chlazení je přišroubována příruba. Tato příruba plní dva úkoly. Z jedné strany je k ní přišroubován driver a z druhé strany se nasouvá svou válcovou částí na stožár veřejného osvětlení. Proti posunutí a pootočení je zajištěna šrouby.

Druhý hliníkový odlitek obsahuje nálitky (světly díl na Obr. 21), ve kterých jsou vytvořeny vnitřní závitě. Pomocí těchto závitů je tento díl spojen s pasivním chladičem (černý díl) šrouby. V tomto odlitku je obsažena světlo propustná deska, která je přichycena pružnými elementy přišroubovanými k tomuto odlitku. Protože tento díl je pohledová část svítidla, je opatřen estetickými sweep prvky.

Pro odolnost svítidla proti prachu a vlhkosti je svítidlo opatřeno pryžovým těsněním mezi přírubou – pasivním chlazením, pasivním chladičem – hliníkovým odlitkem, hliníkovým odlitkem a světlo propustnou deskou.



Obr. 21 – 3D model čtvrtého navrženého konceptu svítidla



Obr. 22 – 3D model čtvrtého navrženého konceptu svítidla – rozložený pohled

Výhody:

- design
- oddělená elektronika a zdroj světla

Nevýhody:

- velké nároky na utěsnění elektrického vedení
- nelze uhlově nastavit
- lze umístit jen na stožáry se speciální úpravou příruby

5.5 Pátý návrh veřejného osvětlení

Tělo svítidla tvoří hliníkový odlitek. Odlitek je rozdělen na dvě části. Jedna část slouží pro uložení driveru a druhá slouží pro uložení desky s diodami.

Pasivní chlazení tvoří žebra spolu s plochou, na které je uložena deska s diodami. Žebra jsou vedena po celé délce těla svítidla. Délka a počet žebor kladně ovlivňuje odvedené teplo, protože se zvětšuje činná plocha chladiče.

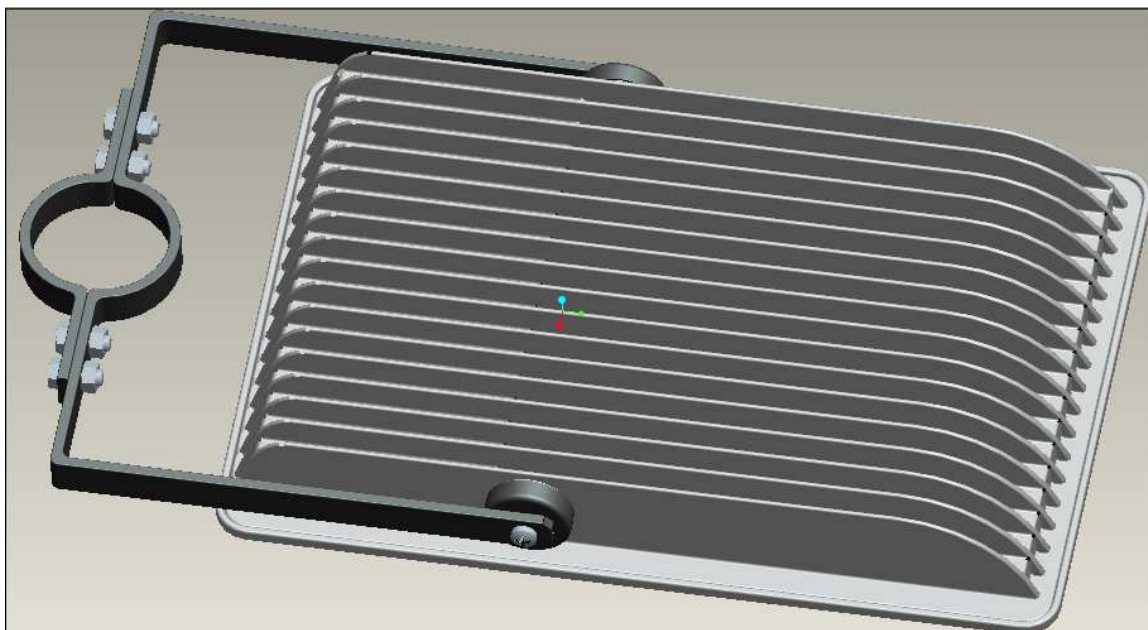
Pro větší účinnost světla je svítidlo opatřeno hliníkovým reflektorem. Tento reflektor je společně s deskou diod přichycen k tělu svítidla šrouby. Optický systém doplňuje difuzor. Difuzor je navržen, jako polymerová světlo propustná deska. Difuzor obsahuje černěnou fólii jako estetický doplněk pro zabránění pohledu do oblasti driveru.

Pro odolnost svítidla proti prachu a vlhkosti je po obvodu svítidla vedeno těsnění, které spolu s difuzorem tvoří těsnicí systém.

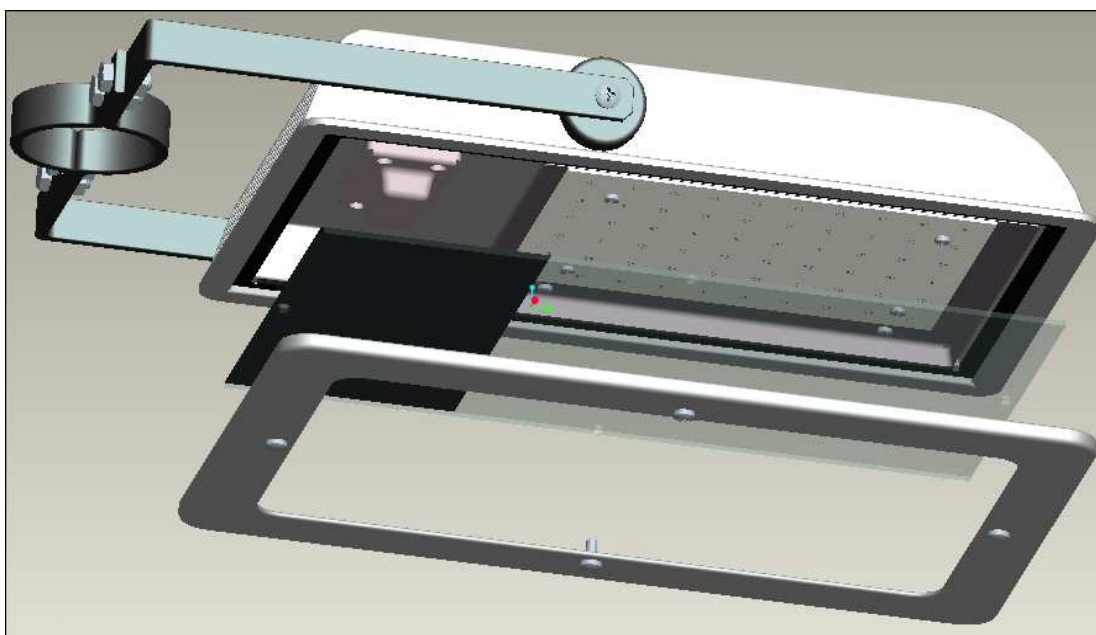
Příruba je v provedení tvarovaného plechu do tvaru stožáru pro veřejné osvětlení a je k němu přišroubován protikus stejného tvaru. S přírubou je možné otáčet, což umožňují tvarové segmenty na těle svítidla a protikus upevněný na druhém konci tvarového plechu.

Výhody:

- design
- oddělená elektronika a zdroj světla
- možnost úhlového nastavení světla
- velká plocha chlazení



Obr. 23 – 3D model pátého navrženého konceptu svítidla



Obr. 24 – 3D model pátého navrženého konceptu svítidla – rozložený pohled

Nevýhody:

- obtížná manipulace – hmotnost
- zanášení nečistot do těla svítidla - životnost

5.6 Zhodnocení a výběr varianty

Výběr konečného konceptu inovačního výrobku je proces, při kterém se hodnotí vygenerované koncepty porovnáváním jednotlivých konceptů a vybírá se jeden nebo několik konceptů pro další vývoj, zlepšování a testování. Pro výběr nejvhodnějšího konceptu slouží celá řada metod s různou úrovní objektivitu a subjektivitu jako např. intuitivní výběr, externí posouzení konceptu, výběr osobní preferencí, rozhodovací matice, analýza silných a slabých stránek a další [8]. Pro zhodnocení a výběr nejvhodnějšího řešení jsem zvolil metodu rozhodovací matice. Každý koncept je hodnocen na základě stanovených kritérií a bere v úvahu jejich významnost.

Pro snadné rozhodnutí jsem jednotlivé varianty srovnal do tabulky 4. Jednotlivá kritéria jsem ohodnotil stupnicí (0 - 5), kde 5 představuje největší hodnotu a 0 hodnotu nejmenší. To např. znamená, že předpokládaná životnost (kritérium) konceptu s přiřazenou hodnotou vyšší bude mít delší životnost, než koncept ohodnocený menší hodnotou. V této tabulce se jednotlivé varianty řešení oceňují vůči kritériím, které mají různou váhu. Následně se sečtou vážené hodnoty u jednotlivých variant a ta s největším součtem vítězí. Vážená hodnota u každé varianty se dostane vynásobením přiřazených vah a hodnot jednotlivých kritérií.

Kritéria pro hodnocení konceptů vyplynula z dotazníku zákaznických potřeb pro veřejné osvětlení a konzultací s potencionálními zákazníky. Dotazovaní hodnotili faktory, které je nejvíce ovlivňují při koupi veřejného osvětlení a posuzovali relativní významnosti těchto faktorů. Podle četnosti zaznamenaných odpovědí a relativní významnosti faktoru byla vytvořena váha jednotlivých kritérií. Na základě potřeb zákazníků a po konzultaci s nimi byla nejvíce ohodnocena kritéria: životnost, cena, odvod tepla. Hodnocení jednotlivých kritérií bylo provedeno intuitivně na základě mého názoru.

Dlouhá životnost veřejného osvětlení se světelným zdrojem LED je požadována nejen v souvislosti s návratností investice, ale je to všeobecně přijímaný standart dnešních výrobků. Životnost veřejného osvětlení hraje v návratnosti investice důležitou roli. Tento ukazatel je jedním z hlavních hledisek, na jehož základě se potencionální zákazník rozhoduje o koupi veřejného osvětlení s příslušným světelným zdrojem. Díky dlouhé životnosti a dobrému odvodu tepla z LED diod se výše zmíněný ukazatel jeví velmi příznivě ve srovnání s klasickými zdroji osvětlení. Neméně důležitou roli hraje v návratnosti investice cena veřejného osvětlení. Nízká cena dále přispívá ke snadnější kon-

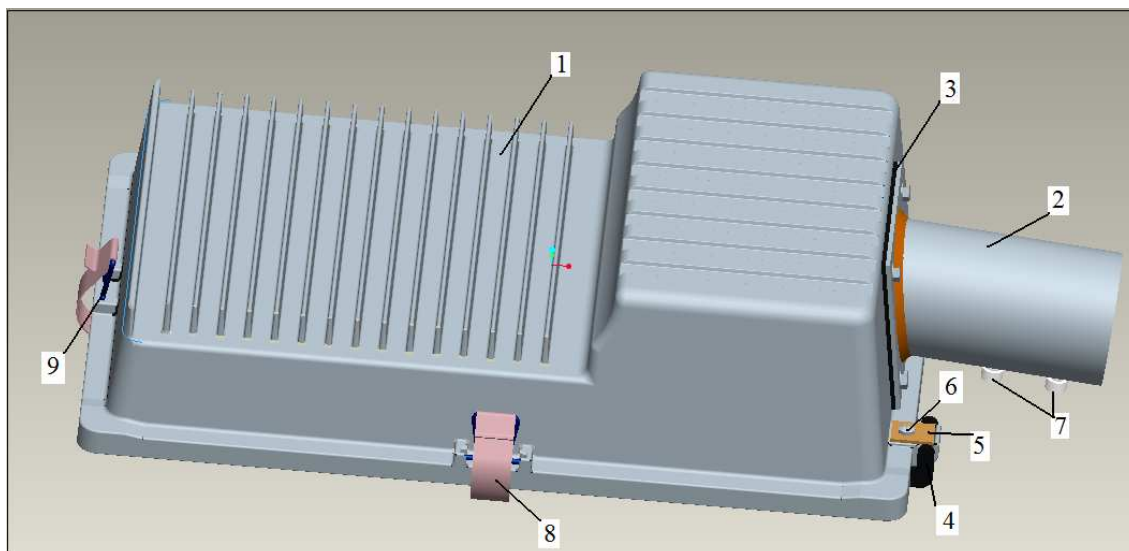
kurenceschopnosti na trhu. Myslím si, že z výše uvedených důvodů jasně vyplývá, proč jsou tyto kritéria právem oceněna jako nejdůležitější a tím pádem je jim přiřazena největší váha v tabulce matice hodnocení konceptů.

Tabulka 4 – Matice hodnocení konceptů

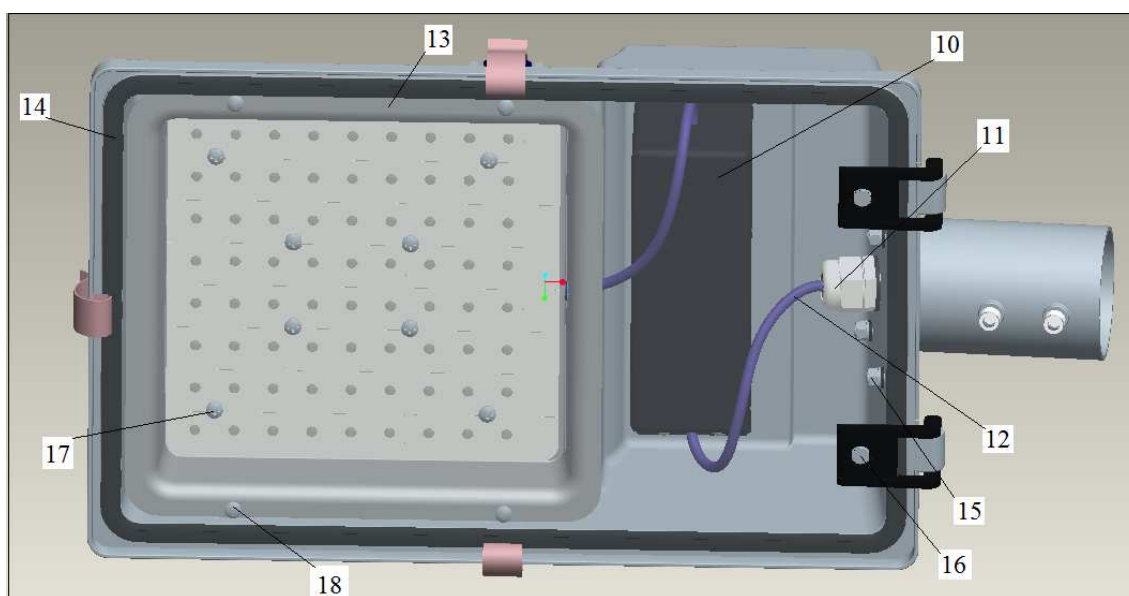
| Kritérium | Váha (%) | Varianty | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|
| | | Varianta 1 | | Varianta 2 | | Varianta 3 | | Varianta 4 | | Varianta 5 | |
| | | Hodnota | Vážená hodnota | Hodnota | Vážená hodnota | Hodnota | Vážená hodnota | Hodnota | Vážená hodnota | Hodnota | Vážená hodnota |
| Chladicí plocha | 12 | 5 | 0,6 | 2 | 0,24 | 4 | 0,48 | 5 | 0,6 | 5 | 0,6 |
| Design | 8 | 4 | 0,32 | 5 | 0,4 | 3 | 0,24 | 5 | 0,4 | 3 | 0,24 |
| Cena | 12 | 4 | 0,48 | 3 | 0,36 | 1 | 0,12 | 3 | 0,36 | 4 | 0,48 |
| Hmotnost | 5 | 5 | 0,25 | 5 | 0,25 | 3 | 0,15 | 2 | 0,1 | 3 | 0,15 |
| Rozměry osvětlení | 5 | 4 | 0,2 | 5 | 0,25 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 |
| Uhlové nastavení světla | 3 | 1 | 0,03 | 5 | 0,15 | 1 | 0,03 | 1 | 0,03 | 5 | 0,15 |
| Jednoduchá konstrukce | 8 | 4 | 0,32 | 2 | 0,16 | 2 | 0,16 | 2 | 0,16 | 4 | 0,32 |
| Počet dílů | 6 | 4 | 0,24 | 4 | 0,24 | 1 | 0,06 | 4 | 0,24 | 4 | 0,24 |
| Snadná údržba | 10 | 5 | 0,5 | 4 | 0,4 | 3 | 0,3 | 4 | 0,4 | 3 | 0,3 |
| Životnost | 18 | 5 | 0,9 | 1 | 0,18 | 4 | 0,72 | 3 | 0,54 | 3 | 0,54 |
| Bezporuchovost | 12 | 5 | 0,6 | 2 | 0,24 | 3 | 0,36 | 3 | 0,36 | 2 | 0,24 |
| Součet bodů | | 4,44 | | 2,87 | | 2,77 | | 3,34 | | 3,41 | |
| Pořadí | | 1. | | 4. | | 5. | | 3. | | 2. | |

Po vytvoření matice hodnocení konceptu jsem se rozhodl vytvořit ještě analýzu silných a slabých stránek jednotlivých konceptů. Tuto analýzu uvádím v příloze 3. I z této analýzy vyšel jako vítězný koncept jedna.

5.7 Popis vítězného konceptu veřejného osvětlení



Obr. 25 – Rozpracovaný koncept



Obr. 26 – Rozpracovaný koncept

1 – Korpus; 2 – Příruba; 3 – Těsnění př.; 4 – Zadní spona; 5 – Plíšek; 6 – Šroub M4 x 5;
 7 – Šroub M6 x 12; 8 – Spona; 9 – Osa spony; 10 – Driver; 11 – Průchodka; 12 – Kabel;
 13 – Reflektor; 14 – Těsnění; 15 – Matice M6; 16 – Šroub M5x10; 17 – Šroub M4 x 10;
 18 – Šroub M4 x 10

6 Analýza teploty, namáhání, optiky

V této kapitole bude krátce popsáno jaké vlivy má teplota na LED, k jakým tepelným přenosům dochází při odvodu tepla a bude proveden teplotní výpočet.

Dále v této kapitole bude provedena kontrola hlavních namáhaných částí v programu ProEngineer 4.0 a v závěru této kapitoly bude provedena simulace křivek svítivosti.

6.1 Teplota přechodu LED

Při průchodu elektrickým proudem diodou dochází k tomu, že se část elektrické energie přemění na energii světla, část elektrické energie se přemění na energii tepelnou. Tato tepelná energie se označuje jako ztrátové teplo a způsobuje zahřívání LED diod. Toto teplo je pro LED nežádoucí a je nutné ho odvádět. Každá LED dioda má od svého výrobce předepsanou teplotu, které může být LED vystavena. Při překročení této teploty hrozí výrazné zkrácení životnosti LED, zničení nebo úbytek světelných vlastností. Proto je potřeba, aby byl zajištěn dostatečný odvod tepla [10].

6.2 Přenos tepla

Přenos tepla se uplatňuje třemi způsoby: vedením, sáláním a prouděním. Hlavní význam pro odvod tepla z diody má hlavně vedení a proudění.

Vedení tepla je způsob šíření tepla v tělesech, při kterém částice látky v oblasti s vyšší kinetickou energií předávají část své pohybové energie prostřednictvím vzájemných srážek částicím s nižší kinetickou energií. Proudění je šíření tepla, kdy dochází k proudění hmoty o různé teplotě. Pohybem hmoty dochází k vzájemnému pohybu jednotlivých částí, které mají odlišnou teplotu a různou vnitřní energii, a tím se přenos uskutečňuje. Teplo vyprodukované diodou musí být odvedeno z této LED diody do chladiče, zde se uplatňuje přenos tepla vedením. A poté musí být chladičem odvedeno do okolního prostředí, zde se uplatňuje nenucené proudění, kdy se teplý vzduch v okolí chladiče ohřívá. Ohřevem dosáhne menší hustoty než okolní vzduch a stoupá nahoru. Tím se odvádí teplo do okolí [10].

6.3 Teplotní výpočet

Tabulka 5 – Veličiny k výpočtu

| Název | Značka | Hodnota | Jednotka |
|------------------------------|------------|---------|-------------------------|
| Maximální teplota LED | T_j | 125 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Teplota okolí | T_a | 25 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Teplota pojistná | T_s | 10 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Počet diod | N | 72 | ks |
| Tepelná vodivost Al | λ | 229 | W/m.K |
| Součinitel přestup tepla | h | 10 | $\text{W/m}^2.\text{K}$ |
| Napětí v propustém směru | U_f | 3 | V |
| Proud v propustném směru | I_f | 350 | mA |
| Vnitřní teplotní odpor 1 LED | R_{thJS} | 5 | K/W |
| Teplotní odporu podkladu LED | R_{thSB} | 3,4 | K/W |

Ztrátový výkon 1 LED:

$$P_z = U_f \cdot I_f = 3 \cdot 0,35 = 1,05 \text{ W} \quad (1)$$

Ztrátový výkon 72-ti LED

$$P_{z72} = 72 \cdot P_z = 72 \cdot 1,05 = 75,6 \text{ W} \quad (2)$$

Výpočet vnitřního teplotního odporu 72-ti LED:

$$R_{thJS72} = R_{thJS} / 72 = 0,07 \text{ K/W} \quad (3)$$

Výpočet teplotního odporu 72-ti LED

$$R_{thSB72} = R_{thSB} / 72 = 0,047 \text{ K/W} \quad (4)$$

Celkový odpor soustavy 72-ti LED:

$$R_{thJA} = R_{thJS72} + R_{thSB72} + R_{hs} \quad (5)$$

Teplotní rovnice:

$$T_j - T_a - T_s = P_{z72} \cdot R_{thJA} = P_{z72} \cdot (R_{thJS72} + R_{thSB72} + R_{hs}) \quad (6)$$

Vyjádření potřebného teplotního odporu chladiče R_{hs} z rovnice (6):

$$R_{hs} = \frac{T_j - T_a - T_s}{P_{z72}} - R_{thJS72} - R_{thSB72} = \frac{125 - 25 - 10}{75,6} - 0,07 - 0,047 = 1,07 \text{ K/W} \quad (7)$$

Tabulka 6 – Parametry chladiče

| Parametr | Značka | Velikost | Jednotka |
|-------------------------------|--------|----------|----------------|
| Obvod žebra | P | 0,376 | m |
| Plocha řezu žebra | A | 0,00056 | m ² |
| Výška žebra | L | 0,015 | m |
| Plocha nežebrované části chl. | Sp | 0,04 | m ² |
| Počet žeber | i | 15 | ks |
| Tloušťka žebra | l | 3 | mm |
| Rozteč mezi žebry | t | 15 | mm |

Bezrozměrný koeficient přestupu tepla:

$$M = m \cdot L = \sqrt{h \cdot P \cdot L^2 / \lambda \cdot A} = \sqrt{10 \cdot 0,37 \cdot 0,00025 / 229 \cdot 0,00056} = 0,08 \quad (8)$$

Výpočet hyperbolického tangensu:

$$\tanh M = \frac{e^M - e^{-M}}{e^M + e^{-M}} = \frac{e^{0,08} - e^{-0,08}}{e^{0,08} + e^{-0,08}} = \frac{0,16}{2,01} = 0,079 \quad (9)$$

Teplotní odpor jednoho žebra:

$$R_{tfin} = \frac{1}{\sqrt{\lambda \cdot A \cdot h \cdot P \cdot \tanh M}} = \frac{1}{\sqrt{229 \cdot 0,00056 \cdot 10 \cdot 0,376 \cdot 0,079}} = 18,2 \text{ K/W} \quad (10)$$

Teplotní odpor nežebrované desky:

$$R_p = \frac{1}{h \cdot S_p} = \frac{1}{10 \cdot 0,04} = 2,5 \text{ K/W} \quad (11)$$

Celkový odpor chladiče:

$$R = \left(\frac{1}{R_p} + \frac{i}{R_{tfin}} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{2,5} + \frac{15}{18,2} \right)^{-1} = 0,82 \text{ K/W} \quad (12)$$

$$R \leq R_{th} \quad 0,82 \leq 1,1 \quad \text{Teplotní odpor chladiče vyhovuje} \quad [9] [10]$$

6.4 Kontrola hlavních namáhaných částí

Kontrola hlavních namáhaných částí byla provedena v programu Proengineer 4.0 v modulu Mechanica. Kontrola byla provedena na dvou částech svítidla. Jedná se o přírubu a vlastní tělo svítidla. Tyto části byly vybrány, protože to jsou hlavní nosné části. Tělo svítidla nese veškeré vnitřní vybavení svítidla a je nejvíce teplotně namáhané. Zatímco příruba nese veškeré díly. Kontrola byla provedena v době návrhu 3D modelu. Kontrola hlavních namáhaných částí byla provedena ve třech fázích: pre – procesing, procesing a post – procesing. Pre – procesing je část kontroly, kdy probíhá definování parametrů zatížení, vazeb atd.. Procesing je vlastní výpočet softwarem. Post – procesing je zobrazení výsledků analýzy [11].

Pre – procesing zahrnuje:

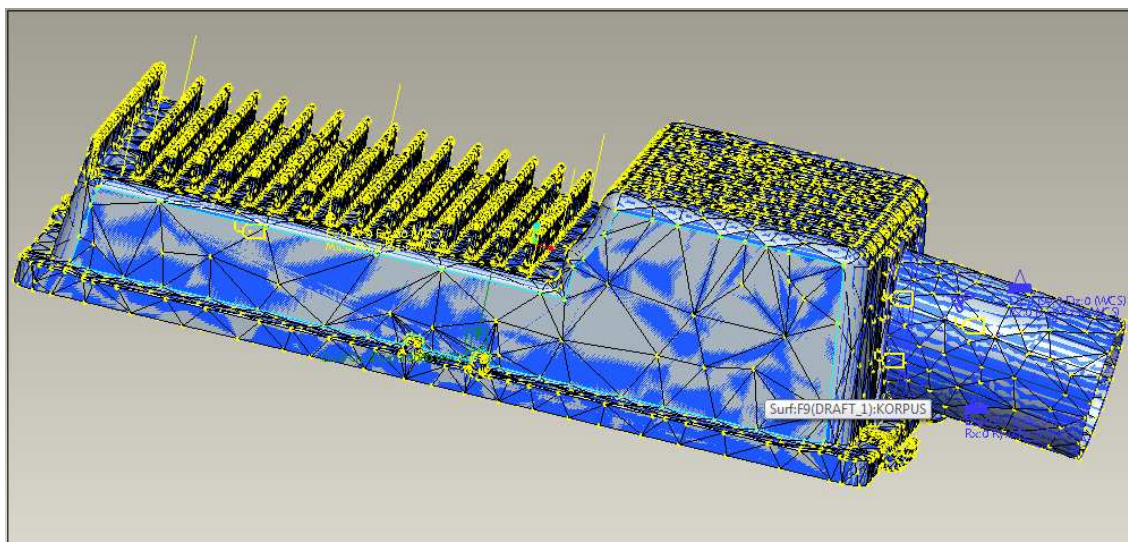
- Vymodelování součástí
- Krajiní podmínky – krajiní podmínky resp. vazba, byla umístěná ve válcové části příruby a byla namodelována jako pevná vazba
- Připojení sil k modelu – model byl zatížen vlastní vahou a plošným zatížením, které odpovídá 60 N z důvodu vnějších podmínek
- Teplotní zatížení – protože tělo svítidla bude odvádět určité množství tepla, je zde namodelováno i teplotní zatížení, velikost teplotního zatížení je 70 °C.
- Generování sítě – po vložení výše zmíněných údajů došlo ke generování sítě, síť byla vytvořena počítačem bez vlastního zásahu

Procesing zahrnuje:

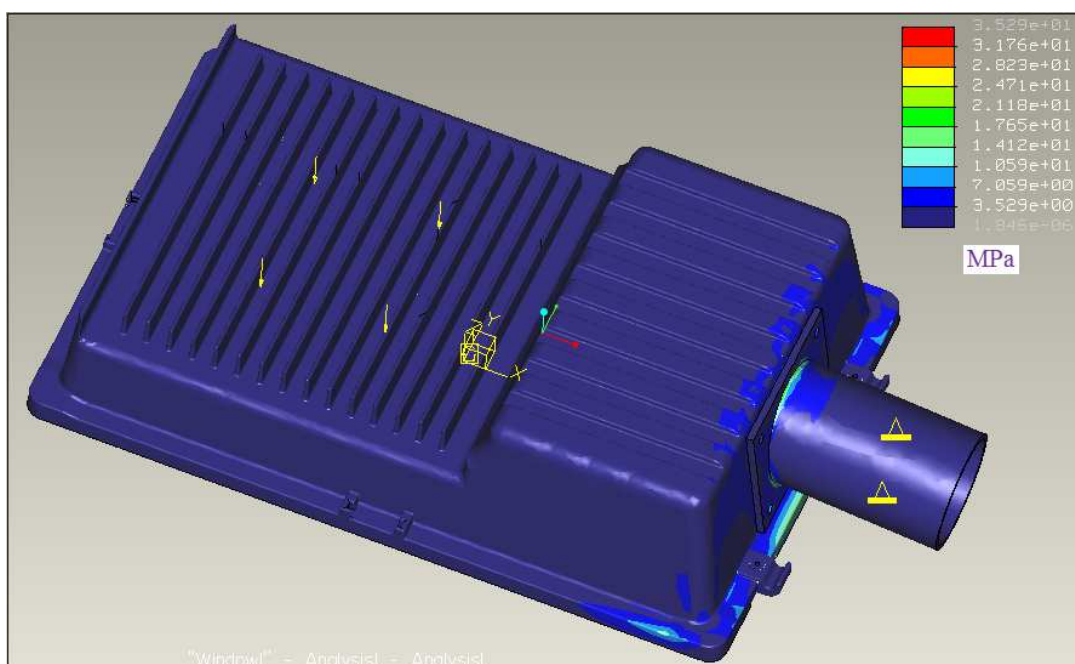
- Analýza modelu – je to nastavení parametrů výpočtů jako např. stupeň polynomu a vlastní výpočet namáhání částí

Post – procesing:

- Zobrazení deformačního modelu – výsledky analýzy
- Zobrazení posunutí – výsledky analýzy
- Zobrazení částí modelu
- Nalezení elementu s největším napětím



Obr. 27 – Pre - procesing



Obr. 28 – Napětí von Mises při zatížení

Výsledné hodnoty:

Napětí v korpusu:

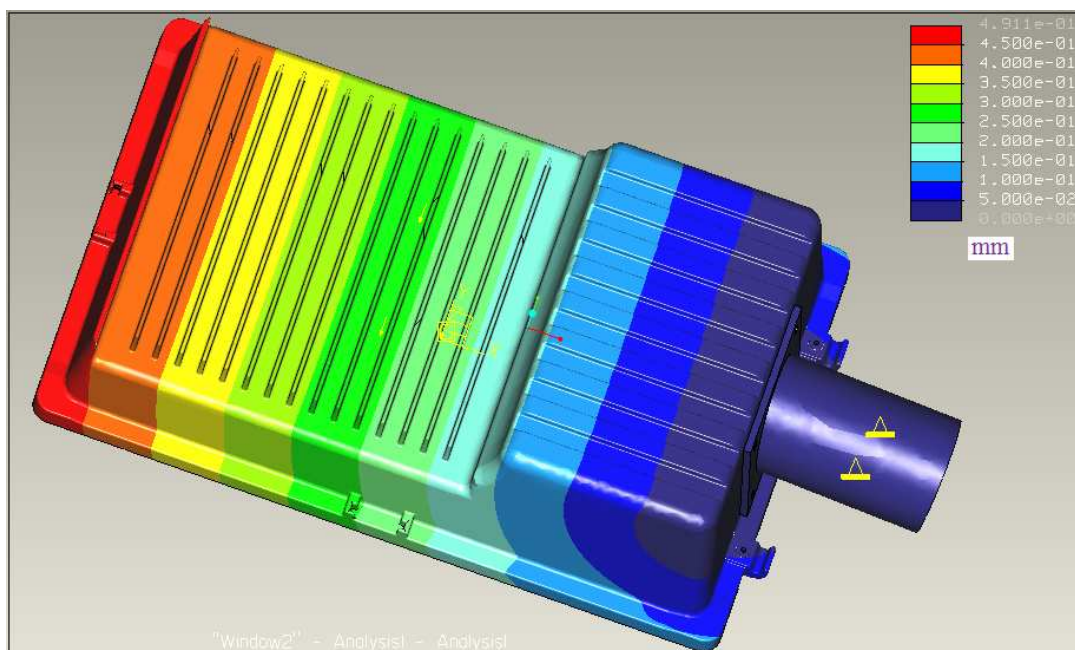
Max: $3,529 \cdot 10^1 \text{ MPa}$

Min: $1,846 \cdot 10^{-6} \text{ MPa}$

Napětí v přírubě:

Max: $2,471 \cdot 10^1 \text{ MPa}$

Min: $1,846 \cdot 10^{-6} \text{ MPa}$



Obr. 29 – Průhyb při zatížení

Výsledné hodnoty:

Posunutí v korpusu:

Max: $4,911 \cdot 10^{-1} \text{ mm}$

Min: 0 mm

Posunutí v přírubě:

Max: $5,000 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$

Min: 0 mm

6.5 Výpočet spony

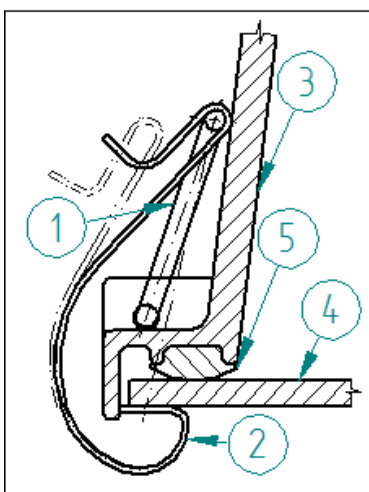
Protože se v kapitole 7 v bodě FMEA zmiňují o zvětšení tuhosti spony zvětšením tloušťky materiálu, bude zde proveden výpočet. Výpočet se bude týkat velikosti přitlačné síly, kterou působí spona na kryt (difuzor).

Byla vytvořena grafická situace při aretaci krytu sponou. Z této situace byly vzaty rozměry, úhly součástí. Na základě těchto parametrů byl proveden silový výpočet. Pro zjištění sil, které vznikají při pružných deformacích, byla vytvořena simulace metodou MKP v Proengineeru. Vymodelovaná součást byla podrobena zatížení v předpokládaných směrech působení sil a byly zjišťovány deformace. Ty síly, které odpovídaly deformacím při grafické situaci, byly vzaty pro výpočet.

Při výpočtu jsem zavedl dvě zjednodušení. První zjednodušení se týče osy spony, kterou zde uvažuji jako dokonale tuhousoučást, protože analýza konečných prvků uká-

zala, že při příslušném zatížení se oproti sponě téměř nedeformuje. Zatímco spona se deformuje řádově v milimetrech, osa spony je deformována řádově $10^{-4} mm$. Druhým zjednodušením je místo působení spony na kryt resp. krytu na sponu. Protože zde bude s největší pravděpodobností působit spojitě rozložené zatížení působící síly, lze jen velmi obtížně zjistit těžiště silového působení. Proto toto místo uvažuji ve středu působení plochy spony.

Pro snadnou orientaci vzájemného působení sil byl vytvořen obrázek 30, kde jsou popsány jednotlivé členy. Akční síly budou označeny velkým písmenem F s příslušným indexem. Reakční síly při uvolnění, budou označovány velkým písmenem R. Index u tohoto písmena, bude značit, „z čeho na co, síla působí“ (např. R_{12} – označuje, jak velkou silou působí člen jedna na člen dva).



Obr. 30 – Aretace krytu sponou

1 – Osa spony; 2 – Spona; 3 – Tělo odlitku; 4 – Kryt (Difuzor); 5 – Pryžové těsnění

Uvolnění členu jedna a výpočet sil:

Vstupní hodnoty pro výpočet sil na členu jedna, jsou vyznačené na obr. 31. Jediné co na obrázku není uvedeno, jsou hodnoty působících sil F_p a F_z . Velikost těchto sil je: $F_p = 20 \text{ N}$; $F_z = 8 \text{ N}$.

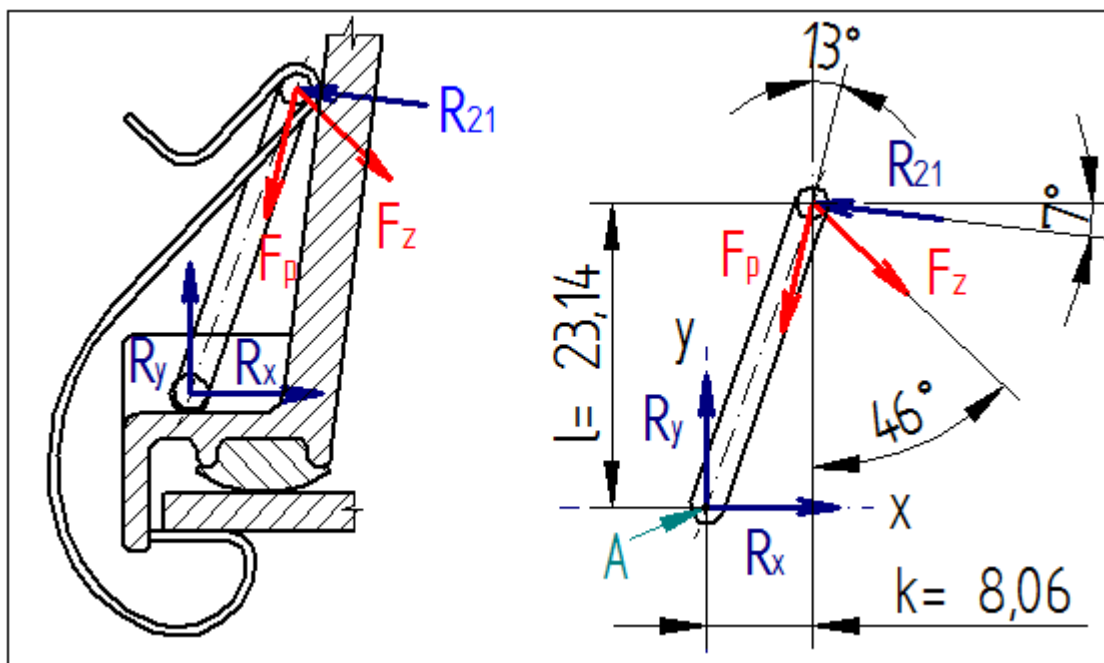
Rovnováha sil:

$$\rightarrow: R_x - F_p \cdot \sin 13^\circ + F_z \cdot \sin 46^\circ - R_{21} \cdot \cos 7^\circ = 0 \quad (13)$$

$$\uparrow: R_y - F_p \cdot \cos 13^\circ - F_z \cdot \cos 46^\circ + R_{21} \cdot \sin 7^\circ = 0 \quad (14)$$

Momentová rovnice (15):

$$\bar{A}: k \cdot (F_p \cdot \cos 13^\circ + F_z \cdot \cos 46^\circ - R_{21} \cdot \sin 7^\circ) + l \cdot (F_z \cdot \sin 46^\circ - F_p \cdot \sin 13^\circ - R_{21} \cdot \cos 7^\circ) = 0$$



Obr. 31 – Uvolnění členu jedna

Výpočet R_{21} z momentové rovnice (15):

$$R_{21} = \frac{k \cdot (F_p \cdot \cos 13^\circ + F_z \cdot \cos 46^\circ) + l \cdot (F_z \cdot \sin 46^\circ - F_p \cdot \sin 13^\circ)}{k \cdot \sin 7^\circ + l \cdot \cos 7^\circ} = 9,6N \quad (16)$$

Výpočet R_x z rovnice 13:

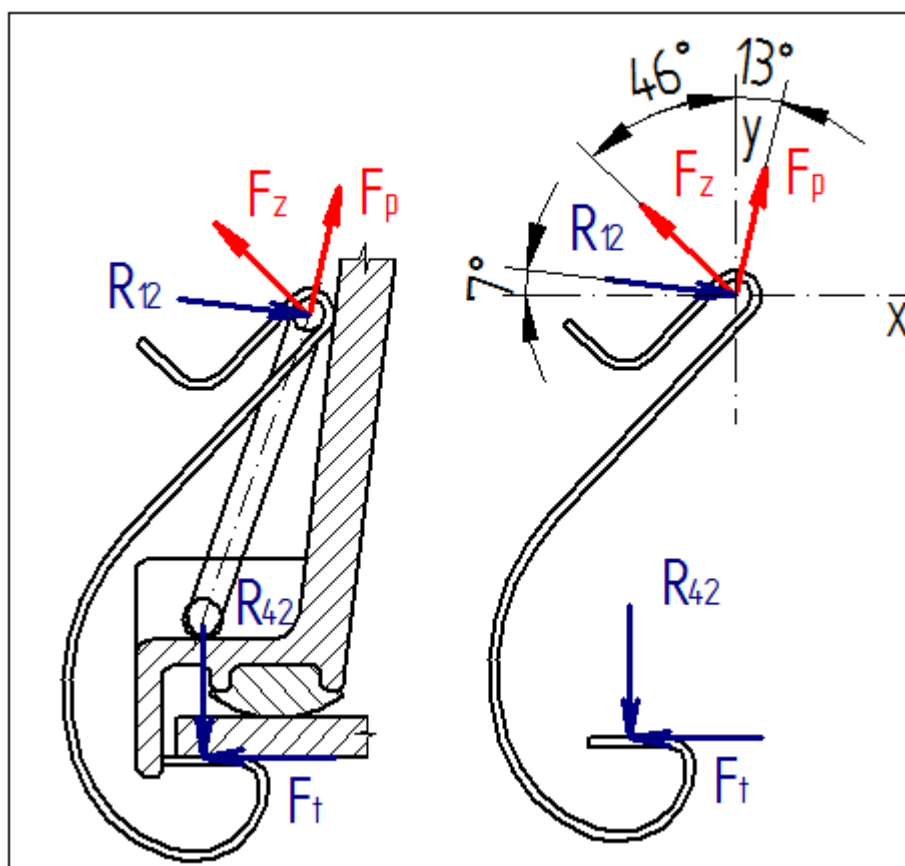
$$R_x = F_p \cdot \sin 13^\circ - F_z \cdot \sin 46^\circ + R_{21} \cdot \cos 7^\circ = 8,3N \quad (17)$$

Výpočet R_y z rovnice 14:

$$R_y = F_p \cdot \cos 13^\circ + F_z \cdot \cos 46^\circ - R_{21} \cdot \sin 7^\circ = 23,8N \quad (18)$$

Uvolnění členu dva a výpočet sil:

Vstupní hodnoty pro výpočet sil na členu dva, jsou vyznačené na obr. 32. Jediné co na obrázku není uvedeno, jsou hodnoty působících sil F_p a F_z . Velikost těchto sil je: $F_p = 20\text{ N}$; $F_z = 8\text{ N}$.



Obr. 32 – Uvolnění členu dva

Rovnováha sil:

$$\rightarrow: F_p \cdot \sin 13^\circ - F_z \cdot \sin 46^\circ + R_{12} \cdot \cos 7^\circ - F_t = 0 \quad (19)$$

$$\uparrow: F_p \cdot \cos 13^\circ + F_z \cdot \cos 46^\circ - R_{12} \cdot \sin 7^\circ - R_{42} = 0 \quad (20)$$

Výpočet F_t z rovnice 19:

$$F_t = F_p \cdot \sin 13^\circ - F_z \cdot \sin 46^\circ + R_{12} \cdot \cos 7^\circ = 8,3N \quad (21)$$

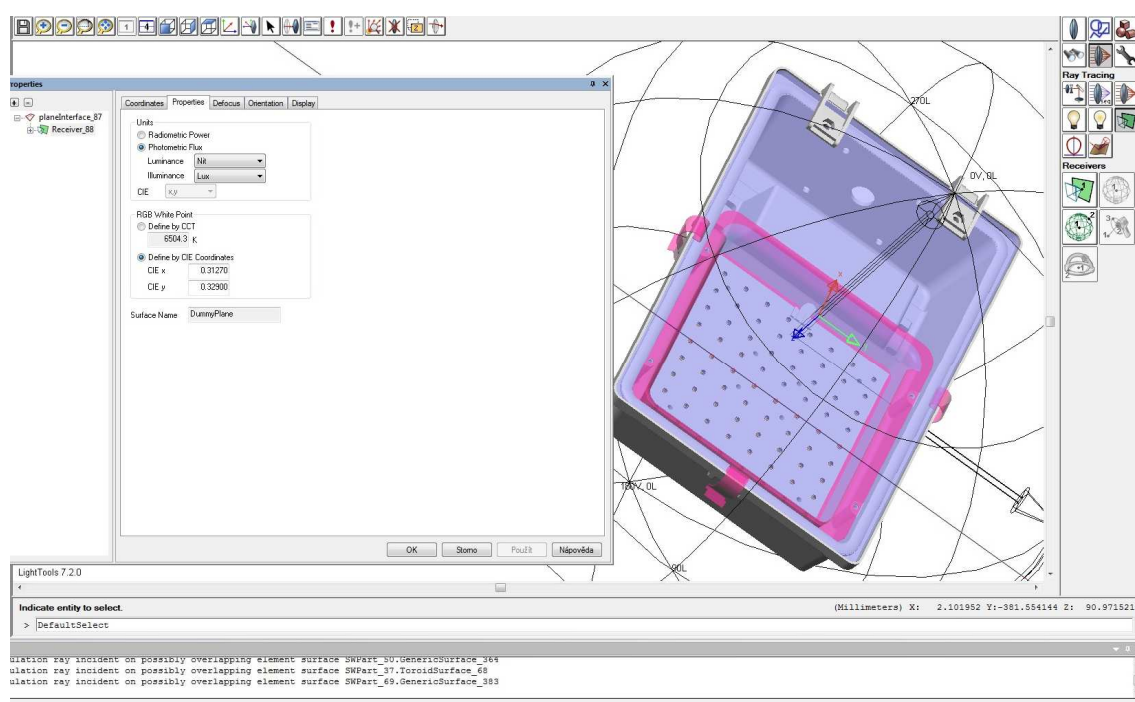
Výpočet R_{42} z rovnice 20:

$$R_{42} = F_p \cdot \cos 13^\circ + F_z \cdot \cos 46^\circ - R_{12} \cdot \sin 7^\circ = 23,8N \quad (22)$$

Výpočtem byla zjištěna síla, kterou působí spona na kryt (difuzor). Této síle odpovídá označení R_{24} , což je síla stejné velikosti jako R_{42} (uvedena výše ve výpočtech), ale opačně orientovaná.

6.6 Simulace křivek svítivosti

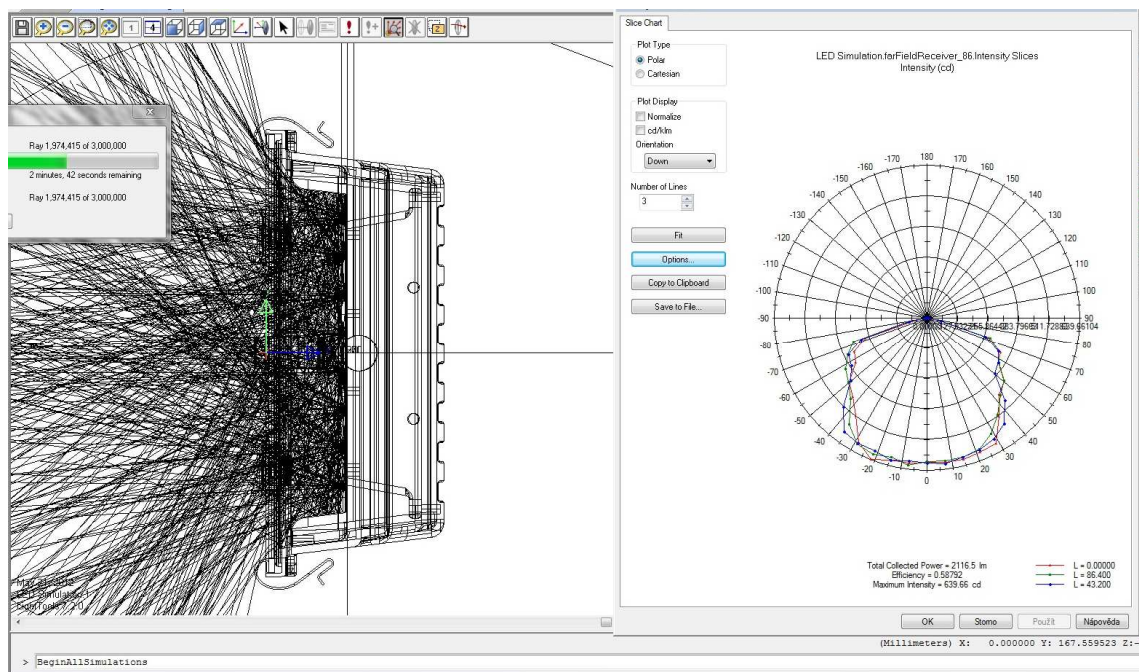
Simulace křivek byla provedena v software LightTool verze 7. Před začátkem simulace byl model zjednodušen o prvky, které nemají vliv na výsledky simulace křivek svítivosti (např. příruba, driver). Poté byly nadefinovány materiály všech součástí nezbytně nutných pro simulaci. Definováním těchto materiálů byla stanovena propustnost a odrazivost světla. Dalšími nezbytnými atributy pro simulaci bylo nadefinování zdroje světla (zda se jedná o bodový nebo plošný zdroj světla), směru jakým světlo působí. Dále, byly nadefinované parametry (obr. 33), jako je světelný tok 10 000 lm a množství světelných křivek [12].



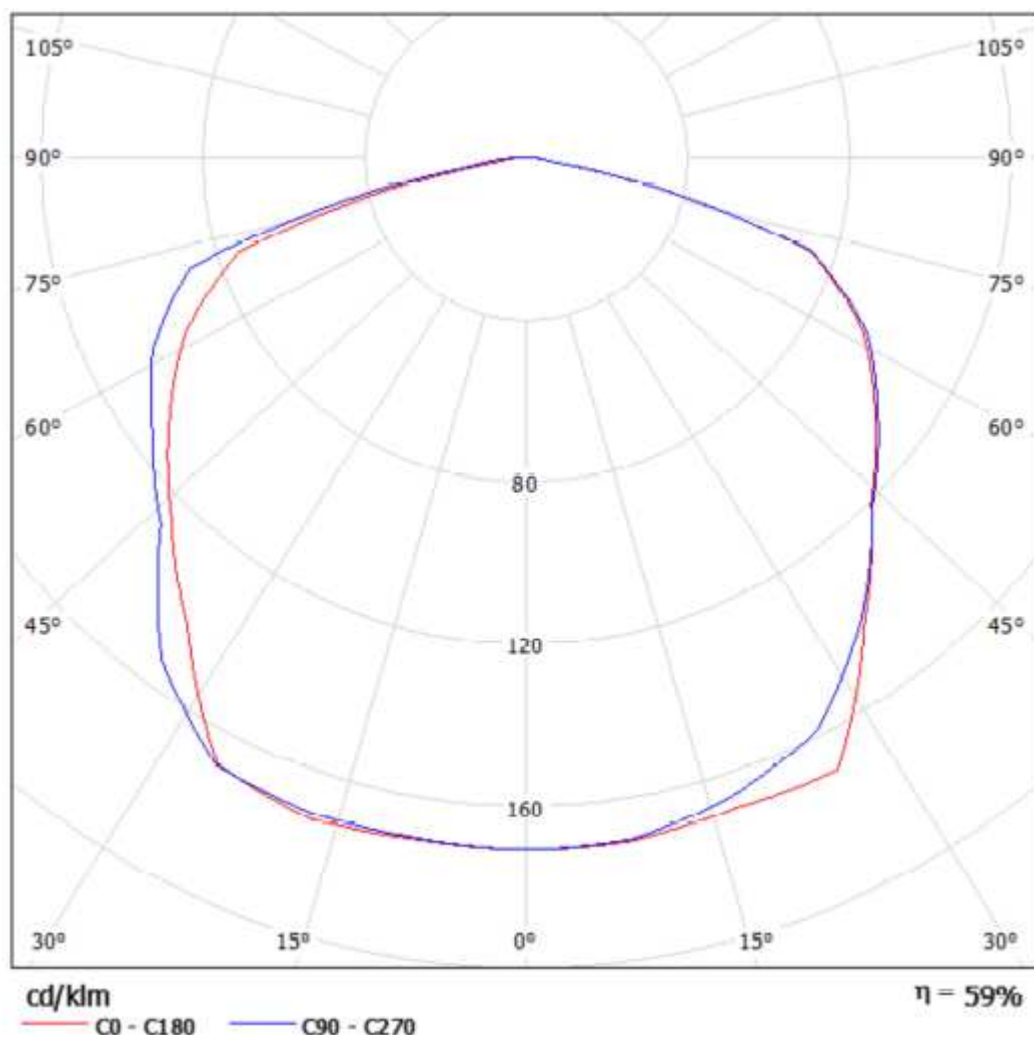
Obr. 33 – Nastavení světelných parametrů

Po výše popsaných nezbytných úkonech bylo možné spustit simulaci (obr. 34), jejímž výstupem jsou křivky svítivosti a úrovně jasu.

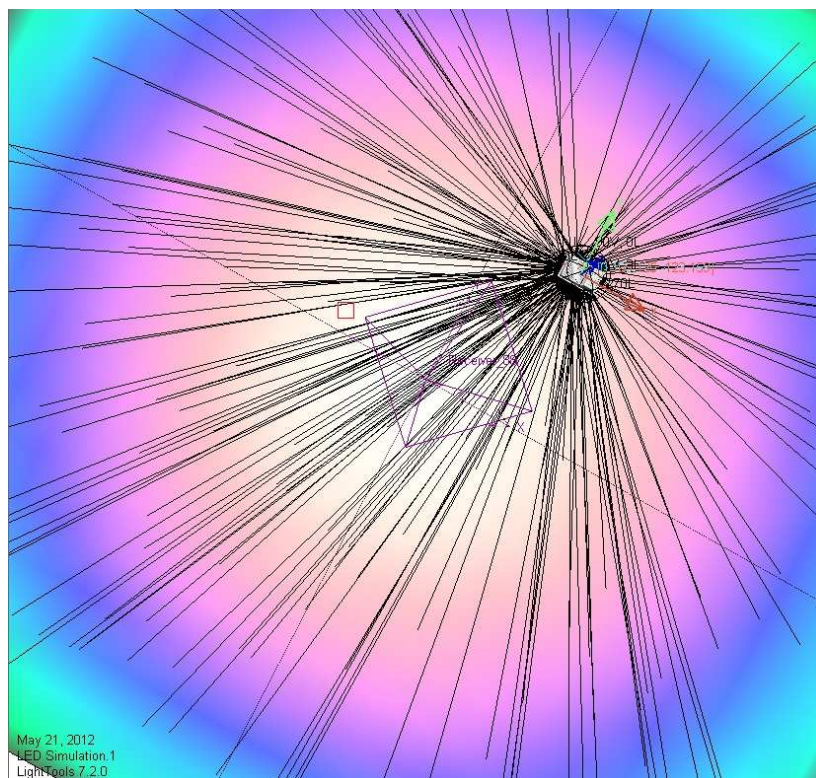
Z výsledných dat křivek svítivosti (obr. 34, 35) je vidět, že svítidlo není zdrojem světleného znečištění, protože vyzařuje světlo pod maximálním úhlem 75° . Díky svému tvaru je vhodné pro osvětlování velkých ploch.



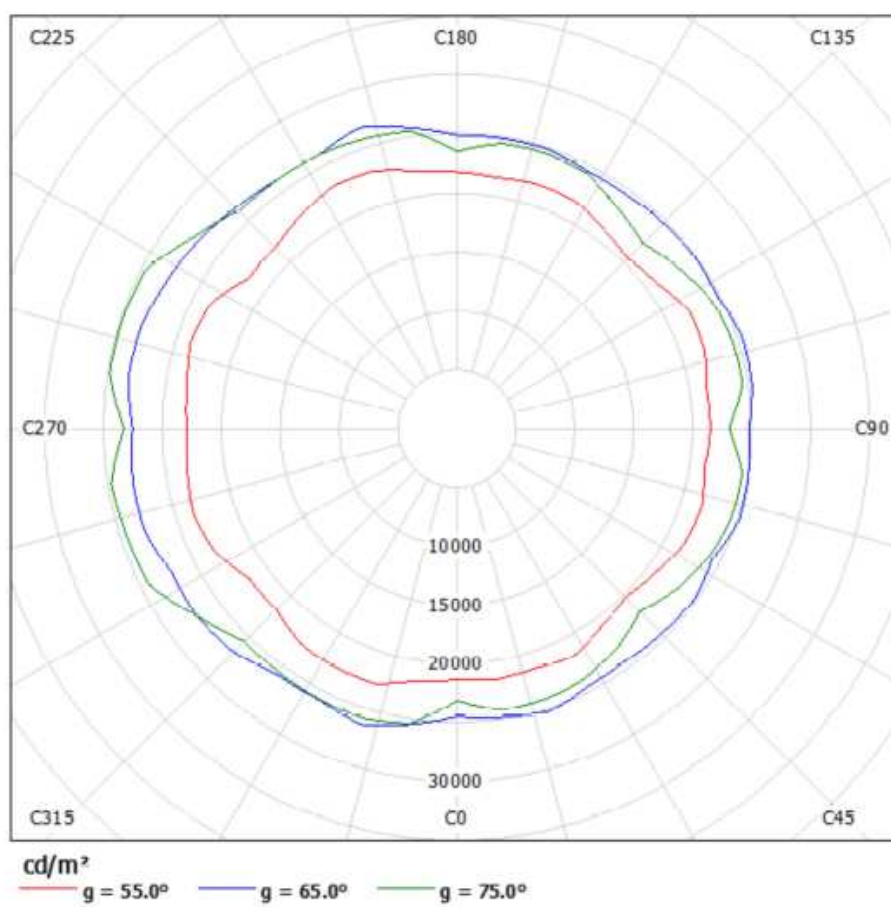
Obr. 34 – Průběh výpočtu



Obr. 35 – Křivky svítivosti



Obr. 36 – Zobrazení svítivosti v prostoru



Obr. 37 – Úrovně jasů

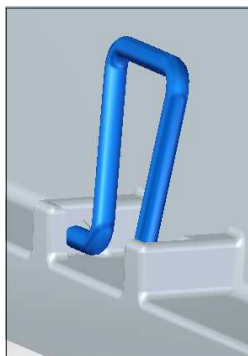
7 Optimalizace řešení – DFX, FMEA

Vybraný koncept bude podroben inovačním metodám, které se zabývají optimalizací výrobku. V konstrukční oblasti bude výrobek optimalizován pomocí metod pro detailní konstruování DFX (design for X) a pro přezkoumání konstrukčního návrhu bude použita FMEA.

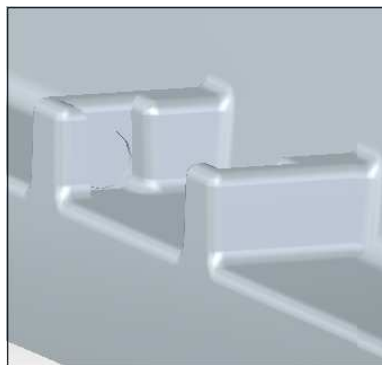
DFX je metoda pro detailní konstruování vybraného konceptu výrobku. Tyto metody jsou zejména využívány v oblasti návrhu výrobku a při jeho výrobě. Cílem těchto metod je vytvoření co nejefektivnějšího výrobku. Touto efektivností je hlavně jednoduchá a snadná výroba, rychlost výroby, montáže, demontáže, udržovatelnosti a apod.. Dalším cílem těchto metod je dosažení co nejmenších nákladů spojených zejména s konstrukčním řešením výrobku v celém jeho cyklu (od vzniku – až po zánik výrobku). Využití těchto metod napomáhá konečnému produktu lépe se prosadit na trhu příznivější cenou. Aby bylo dosaženo požadovaných cílů, je nutné při návrhu výrobku použít některé z následujících metod [8].

7.1 Metoda DFA

Metoda DFA (Design for Assembly) se používá pro optimalizaci součástí s ohledem na jednoduchou montáž výrobku. Jedná se o metodu, jejíž hlavním cílem je navrhnout výrobek, aby obsahoval menší počet dílů. Zmenšením počtu dílů lze dosáhnout značné zjednodušení výrobku. Díky zjednodušení dojde ke zrychlení a zjednodušení montáže, zvýšení produktivity práce a zkrácení průběžné doby. Díky těmto vlastnostem dochází ke snížení celkových výrobních nákladů a k zvýšení zisku, nejen snížením nákladů na výrobu, ale i počtem vyrobených výrobků [8].



Obr. 38 - Uchycení osy spony

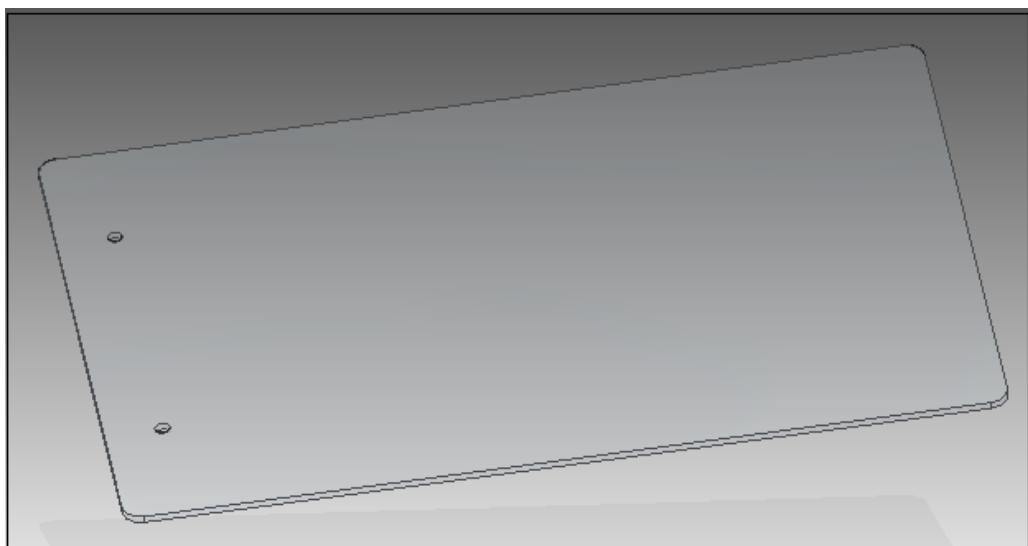


Obr. 39 - Kruhová drážka v korpusu

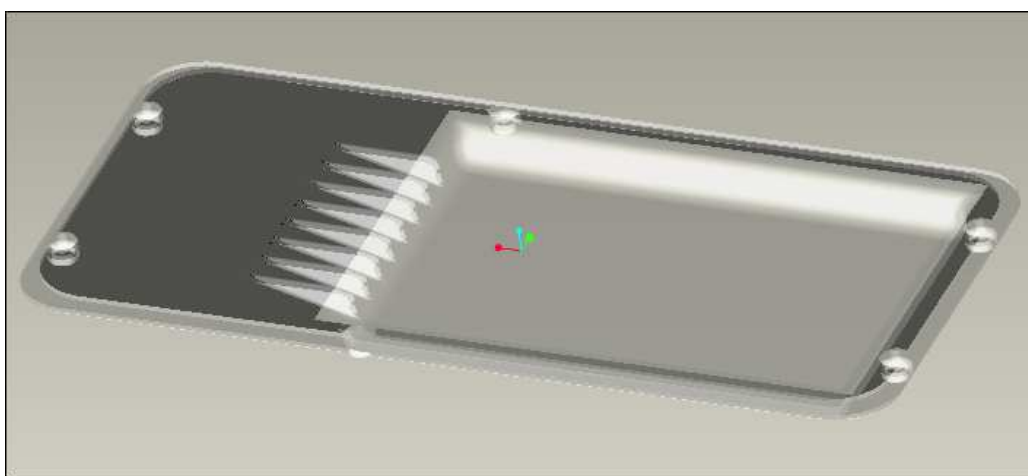
Na obrázku 38 je ukázáno uchycení osy – spony na korpusu svítidla bez použití dalších spojovacího materiálu jako například šrouby. Osa spony je uchycena v kruhové drážce korpusu (obr. 39) svítidla pouze vlastní pružností tohoto dílu.

7.2 Metoda DFM

Dodržováním principů DFM (Design for Manufacturing) lze dosáhnout nízkých výrobních nákladů. Mezi tyto metody patří: jednoduchost, standardní materiály a komponenty, Standardizovaný návrh konstrukce výrobku, volné tolerování [8].



Obr. 40 – Návrh difuzoru po použití metody DFM



Obr. 41 – Návrh difuzoru před použitím metody DFM

Metody DFM bylo využito při návrhu difuzoru svítidla na obr. 40, 41, kde byla využita metoda jednoduchosti. Tvarově složitý díl na obr. 41 byl nahrazen jednoduchým dílem na obr. 40. Touto záměnou z tvarově složitého difuzoru na jednoduchý se výrazně sníží náklady na zhotovení tohoto svítidla.

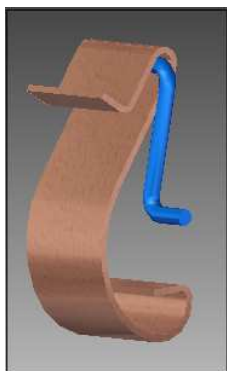
7.3 Metoda DFM

Metoda DFM (Design for Maintenance) se používá pro optimalizaci s ohledem na snadnou údržbu. Snadná údržba se týká většiny průmyslových výrobků. Pro inovační proces je z hlediska metody DFM důležité, aby byl pracovník zodpovídající za údržbu a servis zahrnut do inovačního týmu, protože právě tento člověk dokáže nejlépe formulovat požadavky výrobku nebo součásti na jeho udržitelnost. Pravidla metody DFM jsou orientované právě na tyto často opomíjené charakteristiky výrobku [8]. Patří mezi ně například tyto principy:

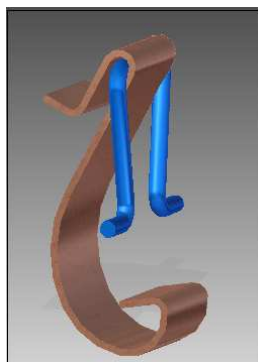
- zajistit snadný přístup k místům údržby
- používat malý počet nástrojů k údržbě
- použití rychloupínacích mechanismů

7.3.1 Použití rychloupínacích mechanismů

Rychlý přístup do svítidla umožňují nerezové spony. Tyto spony stačí pouze zavaknout při otevírání nebo zavírání svítidla. Díky těmto sponám není potřeba další nářadí a šetří čas při údržbě svítidla.



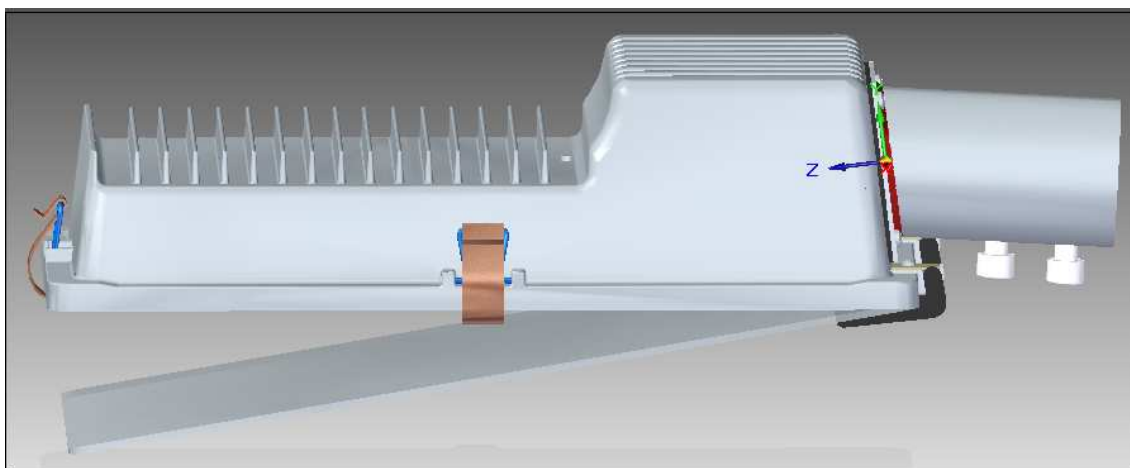
Obr. 42 – Spona



Obr. 43 – Spona

7.3.2 Otočné upevnění krytu

Snadný přístup do svítidla umožňuje otočné uložení difuzoru, prostřednictvím zadních spon, které jsou otočně uloženy na těle svítidla. Toto otočné uložení napomáhá při údržbě tím, že údržbářovi odpadne zachytávání difuzoru při otevření spon a nehrozí zde pád tohoto dílu na kolem jdoucí v případě údržby.



Obr. 44 – Otočné uložení krytu

7.3.3 Druhy šroubů

Díly jsou spojeny prostřednictvím šroubů. Šrouby jsou v tomto svítidle voleny tak, aby se používaly stejné průměry a stejné délky šroubů, což má za cíl snížení počtu nástrojů k údržbě. Tyto šrouby jsou normalizované, což umožňuje snížení ceny svítidla pro veřejné osvětlení.

7.4 Metoda DFTF

Metoda DFTF (Design for Trouble Free) je konstruování s ohledem na spolehlivost. Díky využití principů Computer Aided Engineering analýzy a využívání simulačních nástrojů se mohou výrobky testovat daleko levněji než v případě testování fyzických prototypu. Protože již v raných fázích inovačního procesu je možné odhalit pravděpodobné problémy a poruchy. Analýzy lze využít při pevnostních návrzích, při teplotních návrzích atd.. Tyto analýzy ovlivňují parametry výrobků a jejich využívání

přináší levnější a rychlejší vývoj [8]. Mezi konstrukční principy, které jsou orientované na zvýšení celkové spolehlivosti inovovaného výrobku, patří například:

- zohlednění skutečného provozního prostředí
- minimalizace nebo vyrovnaní napětí a teplotního zatížení
- používání kvalitních komponentů.

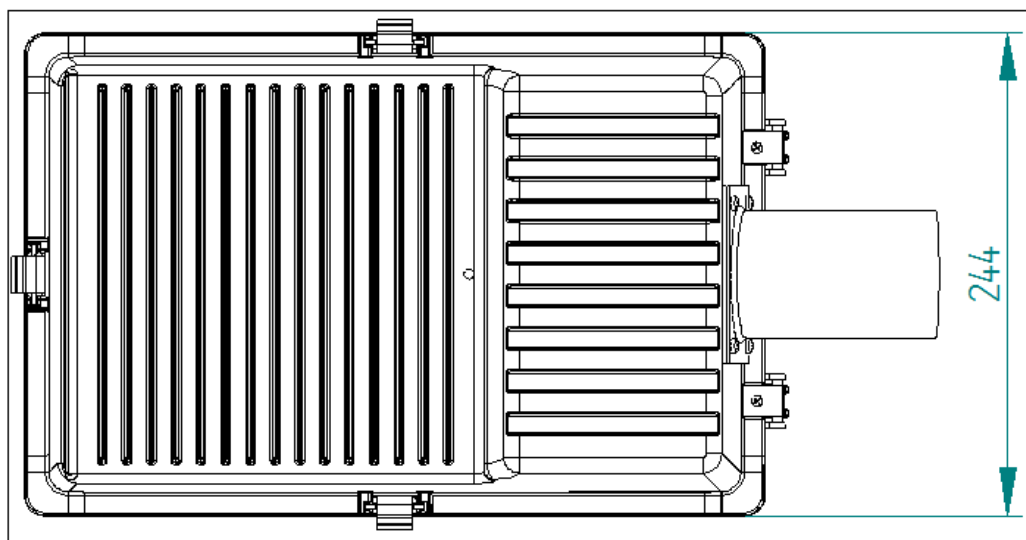
Tělo svítidla a příruba byli podrobeny analýze průhybu a napětí v programu ProEngineer v době návrhu 3D modelu. Při výpočtu bylo uvažováno teplotní zatížení uvolněné z LED diod.

Dále svítidlo bylo podrobeno teplotním výpočtům, tak aby nedošlo k vlastnímu přehřívání diod poškození nebo dokonce k požáru.

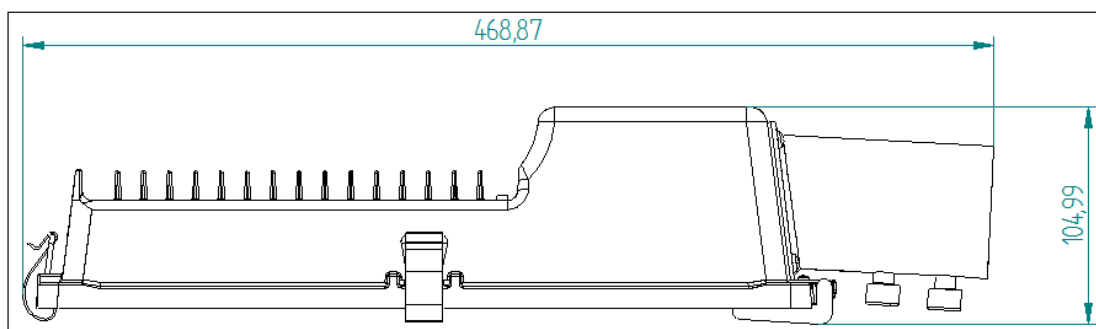
7.5 Metoda DFI

Metoda DFI je konstruování s ohledem na snadnou instalaci. Týká se především výrobků a zařízení využívající instalaci před vlastním provozem [8]. Konstrukční návrh by měl zohlednit:

- způsoby ukotvení a upevnění
- vyrovnaní polohy
- manipulaci při instalaci



Obr. 45 – Rozměr svítidla



Obr. 46 – Rozměry svítidla

Pro snadnou instalaci svítidla byl kladen důraz na minimální hmotnost a rozměry svítidla. Rozměry svítidla jsou uvedeny na obr. 45, 46 a hmotnost svítidla je 8 kg.

7.6 FMEA

Metoda FMEA je jedním z nástrojů pro řízení rizika. Je zkratkou anglických slov Failure Mode and Effect Analysis, což v překladu do češtiny znamená analýza možných vad a jejich důsledků. S touto metodou se začíná již při zahájení vývojových prací.

Hlavním cílem této metody je identifikovat a vyhodnocovat možné poruchy výrobku a důsledky těchto poruch. Po identifikaci a vyhodnocení těchto poruch se navrhuje opatření, která by mohla pravděpodobnost výskytu možné poruchy omezit nebo jí úplně odstranit [8].

K dosažení největšího přínosu se musí FMEA uskutečnit před tím, než byla příčina závady výrobku do výrobku integrována. Investice věnovaná do provedení FMEA s předstihem v době, kdy se dají změny do výrobku nejsnáze a nejlevněji promítnout omezí pozdější vyvolané více – náklady i zpoždění projektu [8].

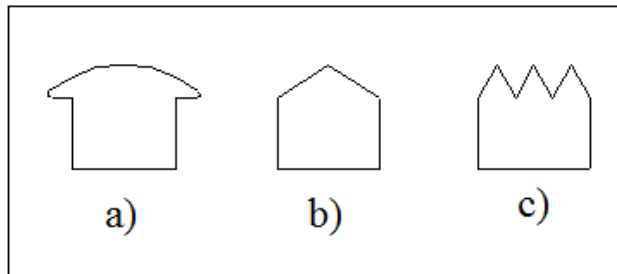
Standard metody FMEA je zaznamenávání údajů do předem připraveného formuláře (do tabulky) s danou posloupností kolonek. Princip metody FMEA spočívá v identifikaci prvku nebo funkce, u kterého by se mohla vyskytnout vada. Tato vada zaznamená do tabulky společně s možnými následky a ohodnotí se význam této vady na stupnici 1-10 (1 - nevýznamný, 10 - nejvýznamnější). Poté se identifikují možné příčiny této vady, ohodnotí se možný výskyt této příčiny 1-10 (1 - minimální výskyt, 10 - velice častý výskyt). Nakonec se do tabulky zaznamená, jakým způsobem se tato příčina kontroluje a ohodnotí se možná odhalení 1-10 (1 - lehce odhalitelná, 10 - neodhalitelná).

Závěr analýzy je spočítání rizikového čísla, které je součinem předchozích třech čísel a na základě velikosti tohoto čísla ($RPN > 120$) se navrhne opatření, které zamezí vzniku možných vad.

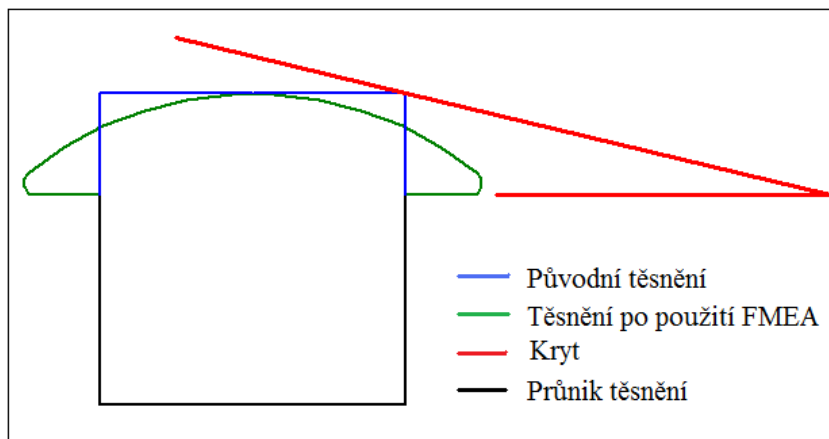
FMEA pro veřejné osvětlení je v tabulce 7. Z tabulky je patrné, že hlavním problémem by mohly nastat při nedostatečném odvodu tepla z LED diod. Bez dostatečného odvodu tepla z LED by došlo k zahřívání a k jejich brzkému poškození nebo úplnému poškození, proto zde bude proveden teplotní výpočet.

Dalším výstupem z metody FMEA je zaměření se na tvar těsnění a zvětšení přitlačné síly spony. Pro zvětšení přitlačné síly bylo navrženo zvětšení tuhosti spony. Toho se dosáhne zvětšením tloušťky plechu spony při zachování stávajícího tvaru spony. Původní tloušťka 0,5 mm byla nahrazena tloušťkou 0,8 mm.

Hlavním problémem původního navrženého těsnění vidím v tom, že kryt (difuzor) bude dosedat na hranu těsnění při zavírání. To způsobí jednak obtížné zavírání a nerovnoměrné dosednutí krytu na těsnění, tím se zhorší těsnost. Předpokládám, že změnou tvaru těsnění dojde – ke zlepšení těsnosti svítidla a k snadnějšímu zavírání krytu. Na obr. 47 jsou navrhnuté varianty tvaru těsnění – vítězná varianta A.



Obr. 47 – Návrhy tvarů těsnění



Obr. 48 – Demonstrace zlepšení

Tabulka 7 - FMEA

| Prvek Funkce | Možná vada | Možné následky vad | Výz. | Možné příčiny vady | Výs. | Stávající kontrola | Odh. | RPN | Doporučené opatření |
|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|------|---|------|---|------|-----|--|
| Kabeláž | Nařízlá | Nefunkčnost světla Poranění | 10 | Poškození vedení o plech reflektoru | 4 | Vizuální kontrola | 3 | 120 | Pryžová krytka Změna výrobního postupu |
| | Špatně zapojená | Nefunkčnost světla | 5 | Chyba operátora | 3 | Výstupní kontrola | 2 | 30 | Žádné |
| | Krátká | Nelze zapojit | 2 | Vadná výroba dodavatele | 2 | Vizuální kontrola | 1 | 4 | Žádné |
| Elektronika | Driver | Poranění | 10 | Vada elektroniky | 3 | Vstupní vystupní kontrola | 4 | 120 | Sankce pro dodavatele |
| Diody | Zahřívání LED diod | Zkrácení životnosti | 6 | Špatný odvod tepla | 10 | Kontrolní výpočet Teplotní analýza | 8 | 480 | Použití dobrého vodiče tepla Velká plocha chladiče Žebrovaní |
| | Špatný zdroj | Dioda nesvítí | 8 | Opačná polarita diod | 3 | 100% vstupní a výstupní kontrola | 2 | 48 | Žádné |
| | Poškození diod | Dioda nesvítí | 8 | Poškození při montáži | 4 | 100% vstupní a výstupní kontrola | 2 | 64 | Žádné |
| Těsnění | Těsnění netěsní | Kratší životnost | 9 | Špatný tvar těsnění | 10 | Zkoušky těsnosti | 2 | 180 | Změna tvaru těsnění |
| | | Vnikání prachu | 8 | Poškozené těsnění | 2 | Vizuální kontrola | 2 | 24 | Žádné |
| | | | 8 | Ztráta těsnících vlastností | 4 | Zkoušky těsnění | 8 | 256 | Změna materiálu Vytvoření bříty na těsnění |
| | | Vnikání vlhkosti | 8 | Malá přitlačná síla | 10 | Zkoušky těsnění | 2 | 160 | Zvětšení tuhosti spony |
| Spojovací prvky | Koroze | Krátká životnost svítidla | 9 | Chybně zvolený spojovací materiál | 2 | Korozní zkoušky | 6 | 108 | Žádné |
| Čirý kryt | Znečištění | Nevzhlednost | 8 | Nedodržení technologickéh o postupu | 2 | Vizuální kontrola | 3 | 48 | Žádné |
| | Prasknutí | Oprava | 10 | Nevhodně zvolený materiál | 2 | Mechanické zkoušky | 5 | 100 | Žádné |
| Příruba | Uvolnění | Svítidlo neplní funkci | 6 | Malý dotahovací moment | 2 | Technická kontrola nářadí | 4 | 48 | Žádné |

8 Ekonomické zhodnocení

Protože cena svítidla pro veřejné osvětlení je důležitá, bude zde provedeno ekonomické zhodnocení. Výsledná cena veřejného osvětlení bude dána součtem jednotlivých dílů, ze kterých je světlo složeno a z ceny předpokládané montáže. Spojovací materiál je zahrnut jako jedna položka. V tabulce 8 jsou sepsané všechny potřebné díly k výrobě veřejného osvětlení a jsou oceněné jednotlivými částkami v korunách.

Tabulka 8 – Ceny dílů

| Počet | Díly | Cena/ks [Kč] | Cena [Kč] |
|------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-----------|
| 1 | Korpus | 750 | 750 |
| 1 | Krytka | 75 | 75 |
| 1 | Příruba | 170 | 170 |
| 1 | Těsnění - příruba | 15 | 15 |
| 1 | Průchodka | 25 | 25 |
| 2 | Zadní spona | 35 | 70 |
| 1 | Obvodové těsnění | 19 | 19 |
| 1 | Kryt (difuzor) | 250 | 250 |
| 3 | Spona | 6 | 18 |
| 1 | Reflektor | 250 | 250 |
| 3 | Osa spony | 8 | 24 |
| 1 | LED systém (driver, kabel, diody) | 4500 | 4500 |
| Celková cena dílů | | | 6166 |
| Celková cena spojovacího materiálu | | | 150 |
| Cena montáže | | | 500 |
| Celková cena zařízení | | | 6816 |

Celková odhadnutá cena světla je 6816,- Kč včetně montáže. Tato cena je však odlišná od ceny na trhu. K této ceně bude ještě připočítán zisk, který si firma stanoví podle vlastního uvážení. Většina zisků z výrobků je deset procent z celkových nákladů, proto celkovou tržní cenu odhaduji na 7498,-Kč. Ve srovnání svítidel s původními světelnými zdroji je tato cena vysoká, ta se však vykompenzuje při používání svítidla, při spotřebě (menší spotřebou).

9 Závěr

Tato diplomová práce pojednává o inovaci veřejného osvětlení s využitím technologie LED diod. Celá práce začala seznámením se s dosavadními řešeními veřejných svítidel a trendy v oblasti LED technologií. Podrobně byly prozkoumány a popsány dvě svítidla pro veřejné osvětlení od společnosti Modus spol. s r. o. a dále byl proveden průzkum na internetu. Bylo celkově prozkoumáno 5 svítidel od různých výrobců, jak na světových, tak na domácích trzích. Jako vzorové příklady v kapitole 4.1 uvádím základní charakteristiku tří svítidel s využitím technologie LED.

Následně byl proveden průzkum zákaznických potřeb, kdy bylo využito nejen dotazníku, ale i internetového průzkumu a osobního pohovoru. Celkem bylo osloveno 61 lidí, z nichž 50 dotazník vyplnilo. Zjištěné potřeby byly rozčleněny do afinního diagramu, zohledněny v metodě QFD a byly brány v úvahu při tvorbě konceptů.

Po zjištění zákaznických potřeby bylo vygenerováno pět návrhů veřejného osvětlení s využitím technologie LED OSOLON SQUARE od firmy Osram. Varianty byly vymodelovány v programu Solid Edge ST4 a byly krátce okomentovány.

Výběr jednoho vítězného konceptu byl proveden na základě rozhodovací tabulky (tabulka 4) a základě analýzy silných a slabých stránek (příloha 3). Vítězným konceptem se stala varianta číslo jedna.

Vítězný koncept byl podroben analýzám: teplotní, namáhání a optické. Teplotní analýza resp. teplotní výpočet byl proveden, aby bylo zajištěno, že teplota z LED diod bude odvedena chladičem do okolí a nedojde k přehřátí nebo zničení diod. Výpočtem bylo zjištěno, že chladič (tělo svítidla) má dostatečný teplotní odpor k odvedení tepla. Kontrola hlavních namáhaných částí metodou konečných prvků proběhla se dvěma částmi (korpus, příruba). Kontrola probíhala v programu Proengineer a ukázala se jako vyhovující – tzn. napětí v součástech, které byly kontrolovány, zdaleka nedosahují meze kluzu. Optická analýza zahrnovala simulaci křivek svítivosti. Výsledkem této simulace bylo vytvoření grafu, kde tyto křivky byly zakresleny. Analýza ukázala, že inovované světlo není zdrojem světelného znečištění a je vhodné pro veřejné osvětlení.

Vítězný koncept byl dále podroben metodám, tak aby došlo k optimalizaci řešení. Jednalo se o metody DFX a FMEA. U DFX se zejména jednalo o: konstruování s ohledem na snadnou a jednoduchou montáž, konstruování s ohledem na snadnou údržbu a konstruování s ohledem na snadnou instalaci. Za hlavní přínos metody FMEA

považuji změnu tvaru těsnění. Díky této změně dojde k odstranění netěsností svítidla a ke snadnému zavírání krytu svítidla a aretaci krytu sponou.

Celou diplomovou práci lze chápat jako projekt inovace veřejného osvětlení. Proto jsem využil jednu z metod projektového řízení. Jedná se o stanovení časové náročnosti jednotlivých úkolů, kde bylo využito metody PERT. Tato metoda je jednou z části troj-imperativu a je dobrá ke statistickému odhadu délky projektu. Pro časové naplánování inovace veřejného osvětlení byl využit software Microsoft Project v podobě Ganthova diagramu (viz příloha 2).

Předpokládaná cena svítidla byla odhadnuta po dohodě s konzultantem diplomové práce na 7498,- Kč. Jedná se o cenu, která zahrnuje cenu materiálu, montáže a desetiprocentní přírůzek zisku.

Výkresová dokumentace ve 2D/3D byla vytvořena v software Solid Edge ST4. Tento software byl zvolen pro snadnou softwarovou komunikaci se společností Modus spol. s r. o., jež software používá. Finální varianta inovovaného svítidla ve 3D byla převedena do 2D a byly vypracované jednotlivé výkresy. Výkresová dokumentace je umístěna v příloze čtyři. Byly zhotovené jen výkresy součástí, které jsem sám navrhl.

Výsledkem této diplomové práce je svítidlo pro veřejné osvětlení s dostupnou LED technologií na trhu od firmy Osram. Jedná se o technologii Oslon Square. Svítidlo bylo vytvořeno tak, aby splňovalo požadavky na tuto technologii, zvláště pak na odvod tepla. Svítidlo je vhodné nejen pro pouliční osvětlení, ale lze ho také využít pro osvětlení parků, parkovišť a manipulačních prostor. Svítidlo obsahuje 72 diod, které zajišťují hodnotu světelného toku přes 10 000 lm.

Díky implementaci technologie Oslon Square se toto svítidlo stalo úspornějším (elektrická energie) a méně náročné na potřebu prostoru. To do značné míry kladně ovlivnilo konstrukci svítidla, která se stala relativně malá (rozměry svítidla: 469x244x105), lehká (hmotnost 8 kg) při dlouhé životnosti (životnost: 50 000 h).

Použitá literatura:

- [1] <http://www.modus.cz/cze/o-spolecnosti/historie-spolecnosti#>
- [2] <http://www.usa.lighting.philips.com>
- [3] www.osram.com
- [4] dokumentace a podklady společnosti Modus spol. s r. o.
- [5] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Benchmarking>
- [6] <http://www.zarovkyled.eu>
- [7] <http://www.ledex.cz/obrazky/109acz.jpg>
- [8] MAŠÍN, I., ŠEVČÍK, L.: Metody inovačního inženýrství, Liberec 2006
ISBN 80-903533-0-4
- [9] Lienhard H. John: A heat transfer text book, Cambridge 2005
MA 02139 – 4307
- [10] DVOŘÁK Z.: Chladicí technika, Praha 1969, ISBN 80-233455-0-2
- [11] <http://www.kts.tul.cz/index.php?page=studium/zkousky>
- [12] Manuál LightTools
- [13] Manuál Solid Edge V16
- [14] HABEL, J.: Světelná technika a osvětlování, Praha 1995, ISBN 80-901985-0-3
- [15] Časopis Světlo

Seznam příloh:

Příloha č. 1 – Dotazník zákaznických potřeb

Příloha č. 2 – Harmonogram

Příloha č. 3 – Analýza silných a slabých stránek

Příloha č. 4 – Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA č. 1 – Dotazník zákaznických potřeb

Dotazník pro veřejné osvětlení

Dotazník slouží pro účely diplomové práce a má informativní charakter. Správnou odpověď zakřížkujte a v případě potřeby připište vlastní názor do vymezeného řádku. Při elektronickém vyplnění odpověď označte a dopište text. Po uložení odešlete zpět.

10) Slyšeli jste o možnosti využití LED ve svítidlech pro veřejné osvětlení?

- ☐ Ano
☐ Ne

11) Znáte nějaké nevýhody světelných zdrojů LED?

- ☐ Ano
☐ Ne
-

12) Znáte nějaké výhody světelných zdrojů LED?

- ☐ Ano
☐ Ne
-

13) Jaké světelné zdroje používáte pro veřejné osvětlení?

- ☐ Rtuťové výbojky
☐ Sodíkové výbojky
☐ LED
☐ Jiné

14) Byli byste ochotni koupit si dražší svítidlo pro veřejné osvětlení s využitím LED?

- ☐ Ano
☐ NE

15) Hodláte přejít na veřejné osvětlení s LED a proč?

- ☐ Ano
☐ Ne
-

16) Kolik jste ochotni investovat do svítidla pro veřejné osvětlení (částka v Kč)?

- ☐ 0 – 10 000
☐ 10 000 – 15 000
☐ 15 000 – 20 000
☐ více než 20 000

17) Co je pro Vás nejdůležitějším faktorem při výběru svítidla?

- ☐ Cena
☐ Jiný faktor
-

18) Uspořádejte nabízené faktory (od nejdůležitějšího k méně důležitým), které Vás ovlivňují při koupi svítidel pro veřejné osvětlení?

Cena Design Životnost Kvalita Spotřeba el. Záruka

19) Jakou požadujete minimální dobu (v měsících) záruky na veřejné osvětlení od výrobce?

- ☐ 24
- ☐ 36
- ☐ 48
- ☐ více než 48

20) Jakou barvu světelného zdroje preferujete u veřejného osvětlení?

- ☐ Žlutou
- ☐ Bílou

21) Dochází často k údržbě veřejného osvětlení?

- ☐ Ano
- ☐ Ne

22) Jaké jsou nejčastější příčiny údržby veřejného osvětlení?

- ☐ Vandalismus
 - ☐ Výměna světelného zdroje
 - ☐ Špatná elektronika
 - ☐ Jiný problém
-

23) Shledáváte nějaké nedostatky na současných svítidlech veřejného osvětlení a jaké?

- ☐ Ano
 - ☐ Ne
-

24) Jak hodnotíte montáž a demontáž svítidel veřejného osvětlení v případě potřeby údržby a co byste zlepšili?

- ☐ Snadná
 - ☐ Obtížná
 - ☐ Velmi obtížná
-

25) Je pro důležitější design nebo praktické využití?

- ☐ Design
- ☐ Praktičnost

26) Jaké možnosti osvětlení byste ocenili u veřejného osvětlení?

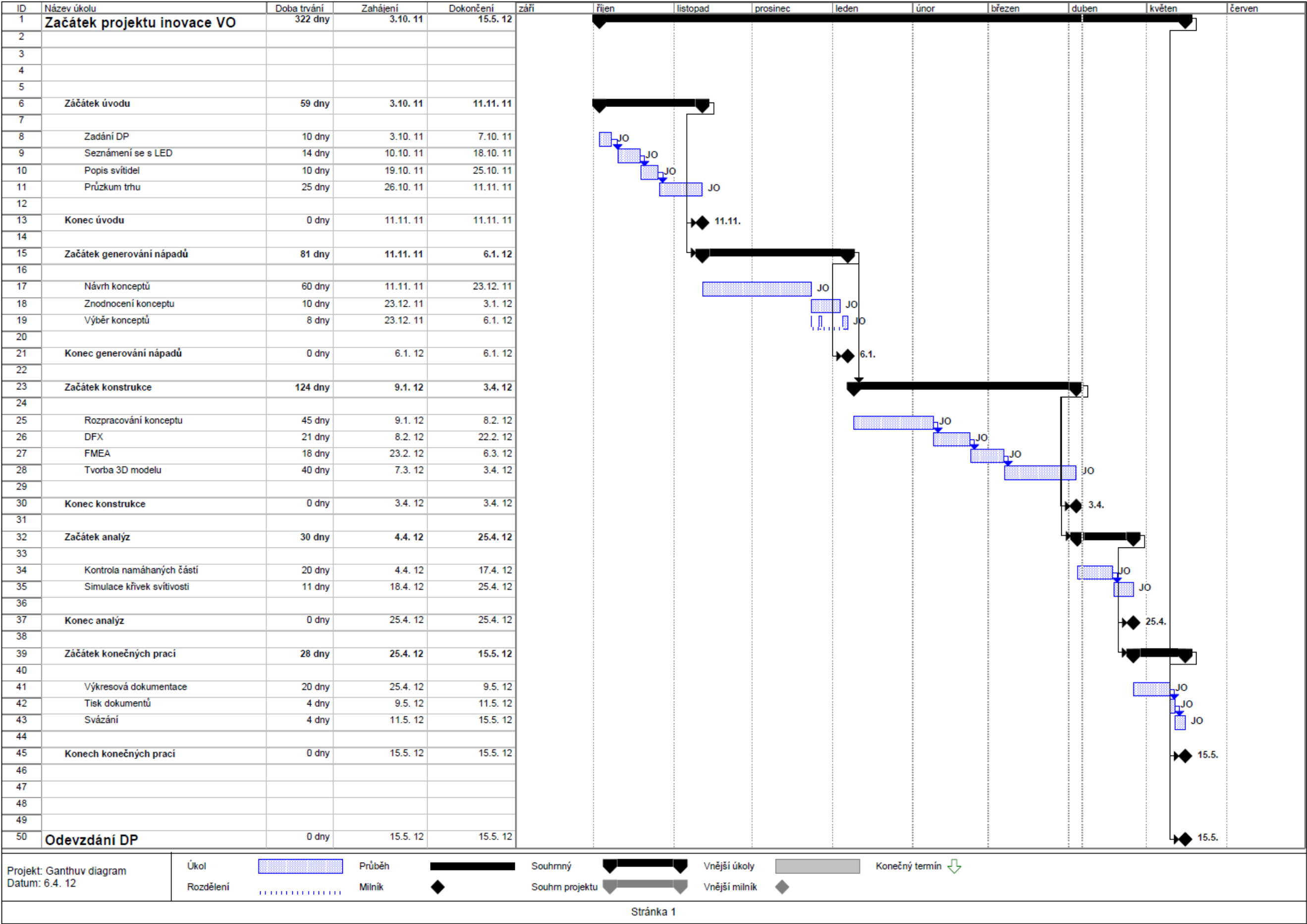
- ☐ Běžné osvětlení – stále stejná intenzita světla
 - ☐ Noční svícení – možnost regulace intenzity světla v různou denní dobu
 - ☐ Detekované osvětlení – rozsvícení při detekci osob
 - ☐ Jiné
-

27) Napadají Vás jiná zlepšení nebo funkce veřejného osvětlení?

- ☐ Ano
 - ☐ Ne
-

28) Vyjmenujte alespoň tři požadavky, které kladete na veřejné osvětlení.

PŘÍLOHA č. 2 – Harmonogram



PŘÍLOHA č. 3 – Analýza silných a slabých stránek

| Varianta 1 | Varianta 2 | Varianta 3 | Varianta 4 | Varianta 5 |
|---|--|--|--|---|
| + | + | + | + | + |
| Velká chladicí plocha Neusazuje se voda a prach v žebrování Kabel je veden skrz přírubu Snadná výroba odlitku Odolné proti vnikání vlhkosti do svítidla Snadná montáž Separace driveru a diod | Úhlové nastavení příruby Hezký Design Odolné proti vnikání vlhkosti Malá hmotnost | Nízká hmotnost Dvě PCB desky - dobrý odvod tepla Separace driveru a diod Dobrá cirkulace vzduchu při chlazení | Neusazuje se voda prah Velká procha chlazení Separace driveru a diod | Snadná montáž Velká procha chlazení Separace driveru a diod Úhlové nastavení příruby |
| - | - | - | - | - |
| Ohnuté vedení v tělese svítidla | Drahá výroba Malá plocha pro odvod tepla Není oddělena elektronika a diody Kabel veden mimo přírubu | Velký počet spojovacích součástí Obtížná montáž Nepříznivé venkovní vlivy na nekryté součásti Možnost zanášení nečistot | Nutnost vícero utěsnění Velká hmotnost Možnost zatékání vody do příruby - korozne Příruba pro nestandardní sloupy veřejného osvětlení | Usazuje se zde voda a prach Malé tření mezi přírubou a stožárem Kabel veden mimo přírubu Možnost zatékání vody pod rám, negativní vlivy na těsnění |

PŘÍLOHA č. 4 – Výkresová dokumentace

Počet stránek: 15

Seznam výkresů:

SESTAVA_SVETLA: DP-2012-OBR-1

PRIRUBA: DP-2012-OBR-2

DESKA_PRIRUBY: DP-2012-OBR-3

TRUBKA_PRIRUBY: DP-2012-OBR-4

TESNENI_PRIRUBA: DP-2012-OBR-5

KORPUS: DP-2012-OBR-6

ZADNI_SPONA: DP-2012-OBR-7

REFLEKTOR: DP-2012-OBR-8

OBVODOVE_TESNENI: DP-2012-OBR-9

SPONA: DP-2012-OBR-10

KRYTKA: DP-2012-OBR-11

OSA_SPONY: DP-2012-OBR-12

KRYT: DP-2012-OBR-13

PLISEK: DP-2012-OBR-14

TESNENI_SROUB: DP-2012-OBR-15